

**KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH TINGGAL 2
LANTAI DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN METODE
*WALL DENSITY INDEX***

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GUNAWAN MUHAMAD

NIM. 135060100111014

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

LEMBAR PENGESAHAN
KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH TINGGAL 2 LANTAI
DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN METODE
WALL DENSITY INDEX

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GUNAWAN MUHAMAD
NIM. 135060100111014

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 30 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 19641207 199002 1 001

Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT.
NIP. 19751122 199903 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi W., ST., M. Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002

Skripsi ini dipersembahkan untuk keluarga saya.

Kepada kedua orang tua, Elis Susilawati dan Subrata, yang telah merawat dan mendidik dari kecil hingga saat ini agar menjadi pribadi yang lebih baik serta senantiasa memberikan doa dan dukungannya.

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 2 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode *Wall Density Index*

Nama Mahasiswa : Gunawan Muhamad

NIM : 135060100111014

Program Studi : Teknik Sipil

Tim Dosen Penguji:

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT.

Tanggal Ujian : 18 Januari 2018

SK Penguji :132/UN10.F07/SK/2018

LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini terbukti bahwa terdapat unsur-unsur plagiarasi, saya sanggup menerima hukuman / sanksi apapun, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Januari 2018

Mahasiswa,

Gunawan Muhamad

NIM. 135060100111014

RIWAYAT HIDUP

Gunawan Muhamad lahir di Serang tanggal 19 April 1995. Anak pertama dari Bapak Subrata dan Ibu Elis Susilawati. Menjalani pendidikan SD (Sekolah Dasar) di SDN 1 Ciruas, pada tahun 2001. Setelah itu SMP (Sekolah Menengah Pertama) di SMPN 1 Ciruas, dan lulus pada tahun 2010. Menjalani pendidikan SMA (Sekolah Menengah Atas) di SMAN 1 Ciruas, lulus pada tahun 2013.

Menyelesaikan S1 Teknik Sipil di Universitas Brawijaya pada tahun 2018. Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam berbagai kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Januari 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 2 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode *Wall Density Index***”. Shalawat dan salam saya tujukan kepada junjungan umat Islam, Nabi Besar Muhammad SAW yang telah memberikan jalan pencerahan bagi umat manusia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah membantu akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan, oleh karena itu saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Alwafi Pujirahajo, ST., MT. selaku Ketua Jurusan yang telah membimbing dari awal perkuliahan hingga tugas akhir ini.
2. Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng (Prac) selaku Ketua Prodi S1.
3. Dr. Ir. Wisnumurti, MT. dan Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
4. Seluruh Bapak Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan waktu dan ilmunya selama masa perkuliahan.
5. Ibu, Ayah, kakak, dan segenap keluarga yang telah memberi bantuan moral dan materi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman EZ, Ayu, Bondan, Dewa, Emil, Fachreza, Hanna, Iqbal, Louce, dan Yiyin yang telah banyak memberikan kenangan dan dukungan selama kuliah saya di UB.
7. Segenap keluarga besar Teknik Sipil Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2013 yang membantu selama proses penelitian skripsi ini.

Kritik dan saran saya harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini juga bermanfaat bagi pembaca khususnya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, Januari 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Gempa Bumi	5
2.2.1 Kerusakan akibat gempa bumi pada bangunan	5
2.3 Perencanaan dan Desain Umum	6
2.4 Komponen Bangunan	9
2.4.1 Dinding	9
2.4.2 Komponen pengikat (kolom dan balok)	14
2.4.2 Konstruksi pondasi dan sloof	18
2.5 Perhitungan Beban Gempa	19
2.5.1 Gaya lateral ekuivalen	21
2.6 Metode Sederhana untuk Perhitungan Kerapatan Dinding	22

2.6.1	Kontrol kapasitas seismik menggunakan <i>wall desity index</i>	22
2.6.2	Kebutuhan kerapatan dinding terhadap beban gravitasi	25
BAB III METODELOGI PENELITIAN		29
3.1	Data Umum Bangunan Rumah Tinggal	29
3.2	<i>Premilinary Design</i>	29
3.3	Langkah-langkah Analisis Struktur	34
3.4	Diagram Alir Analisis.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Perbandingan Denah dengan Persyaratan Gempa	37
4.1.1	Bentuk Bangunan <i>Regular</i>	37
4.1.2	Bangunan Tidak Terlalu Panjang.....	50
4.1.3	Distribusi Dinding Simetris dan Merata.....	51
4.1.4	Dinding Ditempatkan Menerus antar Tingkat.....	51
4.2	Perhitungan Beban Gempa	51
4.3	<i>Wall Density Index</i>	55
4.3.1	Tipe 45 <i>Extension</i>	55
4.3.2	Tipe 56.....	65
4.3.3	Tipe 56 <i>Extension</i>	76
4.4	Pembahasan	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran	92
DAFTAR PUSTAKA		93

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Data Penduduk di Kota Malang Bulan Januari 2016.....	2
Tabel 2.1	Ukuran Batu Merah	10
Tabel 2.2	Kuat Tekan Batu Merah.....	10
Tabel 2.3	Indeks Kerapatan dinding d (%) untuk Setiap Arah dari Rencana Bangunan..	11
Tabel 2.4	Koefisien Situs, F_{α}	20
Tabel 2.5	Koefisien Situs, F_v	20
Tabel 2.6	<i>Basic Shear Strength of Masonry</i> (v_m)	24
Tabel 2.7	<i>Design Compressive Strength of Masonry</i> (f_m')	26
Tabel 2.8	Maksimum Rasio B/t untuk Sistem Pelat Dua Arah	28
Tabel 4.1	Beban Daerah 1 Denah Tipe 45 <i>extension</i>	39
Tabel 4.2	Beban Daerah 2 Denah Tipe 45 <i>extension</i>	39
Tabel 4.3	Pusat Massa Denah Tipe 45 <i>extension</i>	40
Tabel 4.4	Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 45 <i>extension</i>	41
Tabel 4.5	Eksentrisitas Denah Tipe 45 <i>extension</i>	41
Tabel 4.6	Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 56.....	43
Tabel 4.7	Eksentrisitas Denah Tipe 56.	44
Tabel 4.8	Beban Daerah 1 Denah Tipe 56 <i>extension</i>	46
Tabel 4.9	Beban Daerah 2 Denah Tipe 56 <i>extension</i>	47
Tabel 4.10	Beban Daerah 3 Denah Tipe 56 <i>extension</i>	47
Tabel 4.11	Pusat Massa Denah Tipe 56 <i>extension</i>	47
Tabel 4.12	Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 56 <i>extension</i>	49
Tabel 4.13	Eksentrisitas Denah Tipe 56 <i>extension</i>	49
Tabel 4.14	Berat Total untuk Rumah Tipe 45 <i>extension</i>	56
Tabel 4.15	Berat Pada Lantai 2 untuk Rumah Tipe 45 <i>extension</i>	62
Tabel 4.16	Berat Total untuk Rumah Tipe 56.	67
Tabel 4.17	Berat Pada Lantai 2 untuk Rumah Tipe 56.	73
Tabel 4.18	Berat Total untuk Rumah Tipe 56 <i>extension</i>	78
Tabel 4.19	Berat Pada Lantai 2 untuk Rumah Tipe 56 <i>extension</i>	84

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Kapasitas Gempa Menggunakan <i>Wall Density Index</i>	88
--	----

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Peta Lempeng Tektonik Indonesia.....	1
Gambar 2.1	Perencanaan Bangunan Simetris.....	6
Gambar 2.2	Kriteria Denah <i>Irregular</i>	7
Gambar 2.3	Perbandingan Panjang dan Lebar Bangunan	7
Gambar 2.4	<i>Layout</i> Bangunan.	8
Gambar 2.5	Rencana Distribusi Dinding	8
Gambar 2.6	Dinding Menerus Antar Tingkat.....	9
Gambar 2.7	Lokasi Bukaannya pada Bangunan.....	9
Gambar 2.8	Kebutuhan untuk “Bangunan Sederhana”.	12
Gambar 2.9	Dinding <i>Gable</i> : a) Pembatasan Elemen Beton, dan b) Panel <i>Gable</i> Ringan	13
Gambar 2.10	<i>Toothing</i> pada Dinding: a) <i>Machine-Made Holow Unit</i> , b) <i>Hand-Made Solid Unit</i> , dan c) Ketentuan Tulangan Horizontal Ketika <i>Toothing</i> Tidak Memungkinkan.....	14
Gambar 2.11	Rekomendasi Ikatan Bangunan Non Struktur Tahan Gempa	15
Gambar 2.12	Lokasi kolom	15
Gambar 2.13	Konstruksi Balok: a) Simpangan Dinding; b) Ketentuan Kait pada Tulangan Longitudinal.....	16
Gambar 2.14	Detail Tulangan Balok	16
Gambar 2.15	Kait Tulangan Longitudinal Kolom dan Balok	17
Gambar 2.16	Tambahan Pengikat untuk Tulangan Vertikal pada Ujung Join Kolom dan Balok	17
Gambar 2.17	<i>Layout</i> dan Detail Sengkang.	18
Gambar 2.18	Pengurangan Spasi Sengkang pada Ujung Kolom.....	18
Gambar 2.19	Detail Pondasi untuk Konstruksi Tahan Gempa.....	19
Gambar 2.20	Spektrum respons desain.....	21
Gambar 2.21	Jarak Antar Tengah Dinding.....	27
Gambar 2.22	<i>Tributary area</i> (TA).....	27
Gambar 3.1	Denah Rumah tinggal Tipe 45 <i>Esktension</i>	29

Gambar 3.2	Denah Rumah tinggal Tipe 56.....	30
Gambar 3.3	Denah Rumah Tinggal Tipe 56 <i>Extension</i>	30
Gambar 3.4	Denah Rumah Tinggal Tipe 45 <i>Esktension</i> Lantai 1	31
Gambar 3.5	Denah Rumah Tinggal Tipe 45 <i>Esktension</i> Lantai 2.....	31
Gambar 3.6	Denah Rumah Tinggal Tipe 56 Lantai 1	32
Gambar 3.7	Denah Rumah Tinggal Tipe 56 Lantai 2	32
Gambar 3.8	Denah Rumah Tinggal Tipe 56 <i>Extension</i> Lantai 1	33
Gambar 3.9	Denah Rumah Tinggal Tipe 56 <i>Extension</i> Lantai 2	33
Gambar 3.10	Diagram Alir Analisis	35
Gambar 4.1	Pembagian Daerah 1 dan 2 Denah Tipe 45 <i>Extension</i>	38
Gambar 4.2	Denah Balok lantai 1 dan 2 Rumah Tipe 45 <i>Extension</i>	38
Gambar 4.3	Penomoran Dinding Denah Tipe 45 <i>Extension</i>	40
Gambar 4.4	Koordinat Titik Pusat Massa (m) dan Kekakuan Dinding (k) Denah Tipe 45 <i>Extension</i>	42
Gambar 4.5	Penomoran Dinding Denah Tipe 56.	43
Gambar 4.6	Koordinat Titik Pusat Massa (m) dan Kekakuan Dinding (k) Denah Tipe 56.	44
Gambar 4.7	Pembagian Daerah 1, 2 dan 3 Denah Tipe 56 <i>Extension</i>	45
Gambar 4.8	Denah Balok lantai 1 dan 2 Rumah Tipe 56 <i>Extension</i>	46
Gambar 4.9	Penomoran Dinding Denah Tipe 56 <i>Extension</i>	48
Gambar 4.10	Koordinat Titik Pusat Massa (m) dan Kekakuan Dinding (k) Denah Tipe 56 <i>Extension</i>	50
Gambar 4.11	Nilai S_s di Kota Malang.	52
Gambar 4.12	Nilai S_1 di Kota Malang.....	53
Gambar 4.13	Tributary Area Denah Tipe 45 <i>Extension</i>	59
Gambar 4.14	Denah Atap Pelana Rumah Tipe 45 <i>Extension</i>	64
Gambar 4.15	Denah Balok lantai 1 dan 2 Rumah Tipe 56.....	66
Gambar 4.16	Tributary Area Denah Tipe 56	69
Gambar 4.17	Denah Atap Pelana Rumah Tipe 56..	75
Gambar 4.18	Tributary Area Denah Tipe 56 <i>Extension</i>	81
Gambar 4.19	Denah Atap Pelana Rumah Tipe 56 <i>Extension</i>	86

RINGKASAN

Gunawan Muhamad, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 2 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode “Wall Density Index”*, Dosen Pembimbing : Wisnumurti dan Achfas Zacoeb.

Malang merupakan salah satu daerah di Indonesia yang sering mengalami gempa. Sebagian besar kerusakan akibat gempa terjadi pada gedung non struktur yaitu rumah tinggal yang dibangun tanpa ada perencanaan. Kerusakan yang terjadi mengakibatkan kerugian material hingga korban jiwa. Perlunya kajian mengenai desain rumah tinggal serta kapasitas ketahanan gempa rumah tinggal untuk mengetahui ketahanan rumah tinggal apabila terjadi gempa.

Pada kajian ini menggunakan metode *wall density index* yaitu mencari indeks kerapatan dinding berdasarkan pada perbandingan luas dinding pada tiap arah ortogonal dengan luas lantai. Rumah tinggal yang digunakan yaitu rumah tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension*. Data rumah yang digunakan adalah denah dan detail struktur kolom balok dan pelat. Analisis desain rumah dengan menghitung nilai eksentrisitas titik pusat massa rumah terhadap kekakuan dinding dan perbandingan panjang-lebar bangunan. Nilai *wall density index* (d) di Malang lebih besar dari 4,5%, kontrol kapasitas seismik dengan $V_R/V_U \geq 1,6$, kontrol kebutuhan *wall density index* terhadap gaya gravitasi dengan $\sigma_R/\sigma_U \geq 2,33$ dan kontrol daya dukung dinding dengan $P_R/P_U \geq 2,33$.

Hasil yang diperoleh yaitu desain rumah untuk semua tipe masih diizinkan dengan nilai eksentrisitas tipe 45 *extension* $0,3675 < 0,3b$ (1,8), tipe 56 $0,381 < 0,3b$ (1,425), tipe 56 *extension* $0,433 < 0,3b$ (1,8). Untuk nilai *wall density index* dan kontrol kapasitas seismik, kontrol kebutuhan *wall density index* terhadap gaya gravitasi dan kontrol daya dukung dinding berturut-turut yaitu tipe 45 *extension* $6,7\% > 4,5\%$, $2,137 > 1,6$, $7,827 > 2,33$, $3,643 > 2,33$. Tipe 56 yaitu $6,32\% > 4,5\%$, $2,366 > 1,6$, $6,753 > 2,33$, $4,461 > 2,33$. Tipe 56 *extension* yaitu $6,63\% > 4,5\%$, $1,827 > 1,6$, $9,010 > 2,33$, dan $5,944 > 2,33$. Kesimpulan yang didapatkan adalah tipe rumah memenuhi kapasitas ketahanan gempa berdasarkan metode *wall density index*.

Kata kunci : *wall density index*, gedung non struktur, kapasitas ketahanan gempa.

SUMMARY

Gunawan Muhamad, department of Civil Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, January 2018, Earthquake Capacity of 2 Stories Residence In Malang City Using Wall Density Index Method, Supervisor : Wisnumurti and Achfas Zacoeb.

Malang is one of many areas in Indonesia that often experience earthquake. Most of the damage caused by earthquake occurred in non-structural buildings, ie low-rise building such as house that built without engineering planning. The damage that occurred resulted in material loss to casualties. It is necessary to analyze the low-rise building design and the resistant capacity in the event of an earthquake.

This study using wall density index method. Wall density index can be obtained as the ratio of the sum of the the cross-sectional wall areas for all walls in the direction being evaluated and area of floor plan. The building used is type 45 extension, 56 and 56 extension. The data used are plan view of a building and detail of the column, the beams and the plates. The low-rise building design for its regularity can be analyzed by calculating the eccentricity of the center of mass building to the stiffness of the wall and the length to width ratio. Wall density index value in Malang should exceeds 4,5% and can be check using seismic safety check where $V_R/V_U \geq 1,6$, wall density requirements for gravity loads where $\sigma_R/\sigma_U \geq 2,33$ and load-bearing strength check for critical wall where $P_R/P_U \geq 2,33$.

The results obtainde are the low-rise building design for all types are still allowed with the value of eccentricity for type 45 extension is $0,3675 < 0,3b (1,8)$, type 56 is $0,381 < 0,3b (1,425)$, type 56 extension is $0,433 < 0,3b (1,8)$. The value of wall density index and seismic safety check, wall density requirements for gravity loads, and load-bearing strength check for critical wall as follows. Type 45 extension $6,7\% > 4,5\%$, $2,137 > 1,6$, $7,827 > 2,33$, $3,643 > 2,33$. Type 56 yaitu $6,32\% > 4,5\%$, $2,366 > 1,6$, $6,753 > 2,33$, $4,461 > 2,33$. Type 56 extension yaitu $6,63\% > 4,5\%$, $1,827 > 1,6$, $9,010 > 2,33$, dan $5,944 > 2,33$. The conclusion is for all types of the low-rise building meet the need of the capacity resistance based on wall density index method.

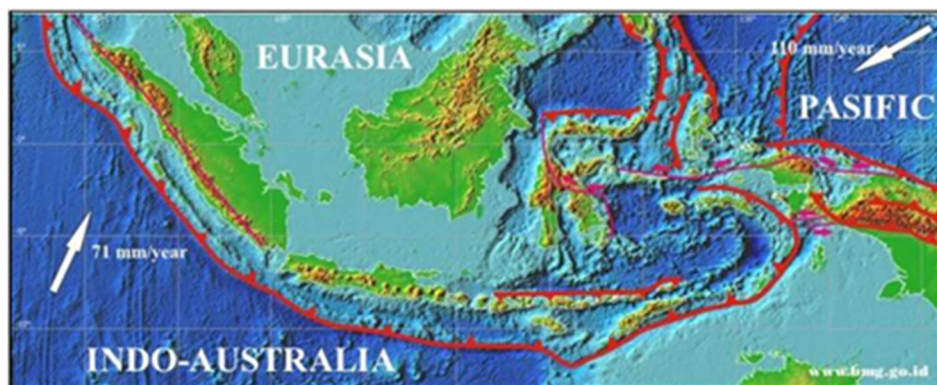
Keywords : wall density index, non-structural building, earthquake capacity.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yaitu India-Australia di sebelah selatan, Pasifik di sebelah timur, dan Eurasia, sehingga Indonesia memiliki tingkat aktivitas gempa bumi tinggi. Pergerakan ketiga lempeng tersebut dan dua lempeng lain yaitu Laut Philipina dan Carolina mengakibatkan terjadi gempa bumi pada daerah-daerah pertemuan antar lempeng dan menimbulkan sesar-sesar regional yang menjadi pusat gempa.



Gambar 1.1 Peta lempeng tektonik Indonesia.

Sumber : <https://inatews.bmkg.go.id>.

Berdasarkan *Gambar 1.1* dapat diketahui bahwa daerah di Indonesia yang rawan gempa yaitu Sumatra, Jawa, Bali, Sulawesi, Maluku, NTB, NTT, dan Papua. Namun dari daerah diatas daerah Sumatra dan Jawa apabila terjadi gempa bumi akan mengalami kerugian paling besar, baik kerugian material dan korban jiwa, karena memiliki jumlah penduduk lebih besar dan infrastruktur yang lebih berkembang daripada daerah lainnya.

Gempa bumi adalah suatu guncangan yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak bisa diprediksi yang berasal dari pusat gempa dan menyebar ke segala arah. Karena gempa bumi tidak dapat dicegah dan tidak dapat diketahui kapan dan besarnya gempa yang akan terjadi, maka untuk mencegah korban jiwa diperlukan perencanaan bangunan yang sedemikian rupa sehingga dapat meminimalkan kemungkinan korban jiwa. Namun dari keseluruhan

bangunan yang rusak akibat gempa, kerusakan sebagian besar terjadi pada rumah tinggal sederhana yang dibangun tanpa ada perencanaan untuk ketahanan terhadap gempa.

Kota Malang secara astronomis terletak $12,06^{\circ} - 112,07^{\circ}$ BT dan $7,06^{\circ} - 8,02^{\circ}$ LS dan terletak pada ketinggian 440-667 meter diatas permukaan laut serta dikelilingi gunung-gunung yaitu Gunung Arjuno di sebelah utara, Gunung Semeru di sebelah timur, Gunung Kawi dan Panderman di sebelah barat, Gunung Kelud di sebelah selatan. Letak geografis Malang yang berada pada perbatasan lempeng tektonik dan dikelilingi oleh beberapa gunung yang masih aktif mengakibatkan Malang termasuk salah satu kota yang sering terjadi gempa bumi.

Pertumbuhan penduduk yang tinggi di Malang dan sebagai kota pelajar dan kota wisata, sehingga kebutuhan akan rumah tinggal sangat tinggi. Malang termasuk daerah rawan gempa, maka diperlukan kajian akan ketahanan terhadap gempa pada rumah tinggal untuk mengetahui kapasitas bangunan rumah tinggal terhadap gaya gempa.

1.2 Identifikasi Masalah

Pembangunan rumah tinggal di Malang pada saat ini sangatlah tinggi, hal tersebut disebabkan karena pertumbuhan penduduk dan banyaknya pendatang dari kota atau negara lain untuk berwisata atau menimba ilmu. Akan tetapi, peningkatan tersebut tidak memperkirakan tingginya resiko gempa yang ada di Malang sehingga masih banyak rumah tinggal yang hanya dibangun berdasarkan pengalaman tanpa mengikuti standar yang ada sehingga dapat meningkatkan kerugian secara material hingga terjadinya korban jiwa. Hal ini sebagai dasar kajian tentang kapasitas bangunan rumah tinggal terhadap gaya gempa di Kota Malang.

Letak objek kajian berada pada salah satu perumahan yang berada di Kota Malang. Berdasarkan data penduduk Malang yang diambil dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota Malang pada bulan Januari 2016 yang ditampilkan pada *Tabel 1.1* diketahui jumlah penduduk Kota Malang sebanyak 883.444 jiwa. Di Kota Malang terdapat 5 kampus besar yaitu Universitas Brawijaya, Universitas Negeri Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, Universitas Islam Negeri, dan Universitas Islam Malang dimana banyak mahasiswa yang tinggal dan tidak terhitung dalam sensus penduduk karena berasal dari kota lain.

Tabel 1.1 Data penduduk di Kota Malang bulan Januari 2016.

NO	KECAMATAN	JUMLAH PENDUDUK
1	Blimbing	194.857
2	Klojen	109.950
3	Kedung Kandang	204.918
4	Sukun	203.321
5	Lowokwaru	170.398
JUMLAH		883.444

Sumber : BPS Kota Malang (2016).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain denah bangunan rumah tinggal tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension* sehubungan dengan persyaratan gempa?
2. Berapa besar kapasitas ketahanan gempa rumah tinggal tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension*?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Peraturan yang digunakan untuk menganalisis beban gempa adalah SNI 1726 (2012).
2. Lokasi kajian menggunakan rumah tinggal tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension*.
3. Struktur dimodelkan sesuai kondisi sesungguhnya dengan penyederhanaan pada elemen sekunder.
4. Bangunan dianggap tidak kopel (tidak saling berhimpitan) dengan bangunan yang lain.
5. Analisis menggunakan metode perhitungan *wall density index*.

1.5 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam penulisan ini adalah:

1. Mengetahui bentuk desain denah bangunan rumah tinggal tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension* sehubungan dengan persyaratan gempa.

2. Mengetahui kapasitas ketahanan gempa rumah tinggal 45 *extension*, 56 dan 56 *extension*.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penulisan ini adalah:

1. Memberikan gambaran kepada masyarakat dan pemerintah seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh gaya gempa yang terjadi pada rumah tipe 45 *extension*, 56 dan 56 *extension* di Kota Malang.
2. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat sehingga masyarakat dapat mengerti seberapa penting pembangunan rumah tinggal yang tahan gempa.
3. Diharapkan dengan adanya kajian ini, Pemerintah Kota Malang lebih memperhatikan bangunan rumah tinggal yang tidak layak huni untuk menghindari kerusakan yang lebih besar pada saat terjadi gempa bumi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Rumah sederhana adalah bangunan layak huni yang bagian huniannya langsung berada langsung diatas permukaan tanah, berupa rumah tinggal, rumah kopel dan rumah deret. Rumah bertingkat adalah rumah tinggal berlantai dua atau lebih, rusun baik untuk golongan penghasilan rendah, golongan berpenghasilan menengah maupun golongan berpenghasilan atas (PU, 2006).

2.2 Gempa Bumi

Menurut Suharjanto (2013), gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan gerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia.

2.2.1 Kerusakan Akibat Gempa Bumi pada Bangunan

Ketika gempa terjadi, permukaan tanah bawah struktur bangunan akan bergetar. Getaran tersebut akan ditransmisikan ke struktur bangunan di atasnya sehingga memungkinkan terjadi kerusakan. Kerusakan akibat getaran gempa bumi dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu kerusakan non struktural, kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*) dan kerusakan struktur total (*totally collapse*).

1. Kerusakan non struktural

Kerusakan yang terjadi pada elemen non struktural dari bangunan seperti dinding, partisi, pintu, jendela dll akibat getaran gempa.

2. Kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*)

Kerusakan yang terjadi pada sebagian elemen struktur dari bangunan seperti kolom, balok, pelat dll akibat gempa, dan struktur tidak mengalami keruntuhan total atau masih berdiri.

3. Kerusakan struktur total (*totally collapse*)

Kerusakan yang terjadi pada elemen struktur yang mengakibatkan bangunan mengalami keruntuhan total akibat getaran gempa.

2.3 Perencanaan dan Desain Umum

Dalam perencanaan rumah tinggal tahan gempa, harus mengutamakan keselamatan hidup dengan tujuan kerusakan struktur yang diizinkan akibat gempa bumi, akan tetapi keruntuhan harus dihindari sehingga penghuni rumah dapat dengan aman mengevakuasi bangunan. Dengan perencanaan dan pelaksanaan yang tepat, rumah tahan gempa dengan kepadatan dinding yang cukup diharapkan tidak terjadi kerusakan akibat gempa bumi sedang. Berikut ini merupakan solusi agar bangunan tahan terhadap gempa berdasarkan Blondet (2005) dan Brzev (2008).

1. Perencanaan bangunan harus dalam bentuk simetris.

Perencanaan bangunan agar simetris pada denah maupun tinggi bangunan. Pada *Gambar 2.1* menunjukkan contoh bangunan *irregular* dan simetris. Berdasarkan *Building Seismic Safety Council* (2009), bangunan dapat dikategorikan *irregular* secara vertikal dan horisontal. *Irregular* secara horisontal dapat ditentukan dengan bentuk denah pada *Gambar 2.2* dan memenuhi syarat berikut:

$$\frac{X_p}{X} > 0,15 \quad (2-1)$$

$$\frac{Y_p}{Y} > 0,15 \quad (2-2)$$

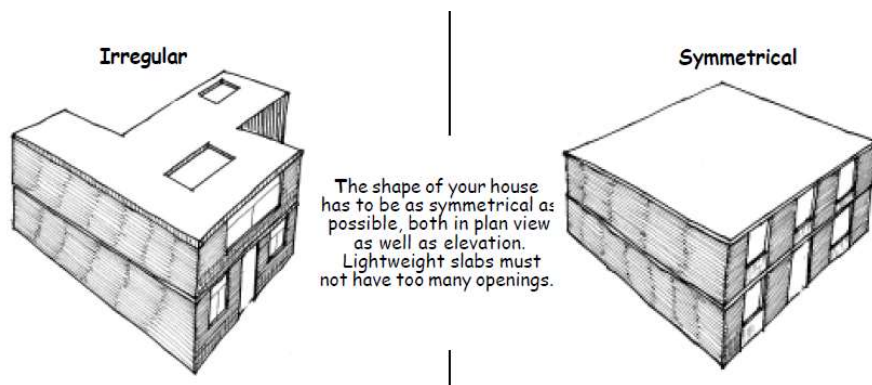
Keterangan:

X = panjang bangunan arah x.

X_p = panjang *Re-entrant corner* arah x.

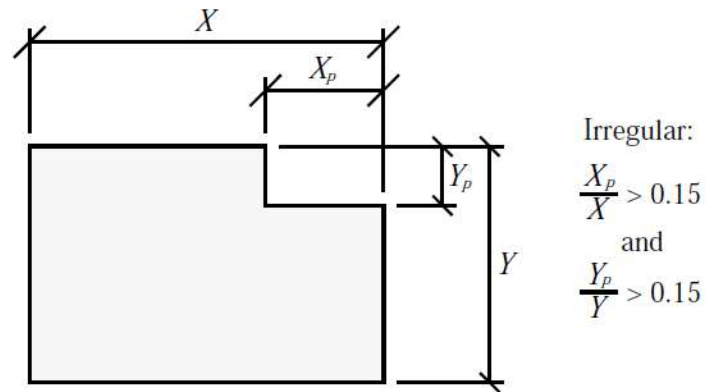
Y = panjang bangunan arah y.

Y_p = panjang *Re-entrant corner* arah y.



Gambar 2.1 Perencanaan bangunan simetris.

Sumber : Blondet (2005).

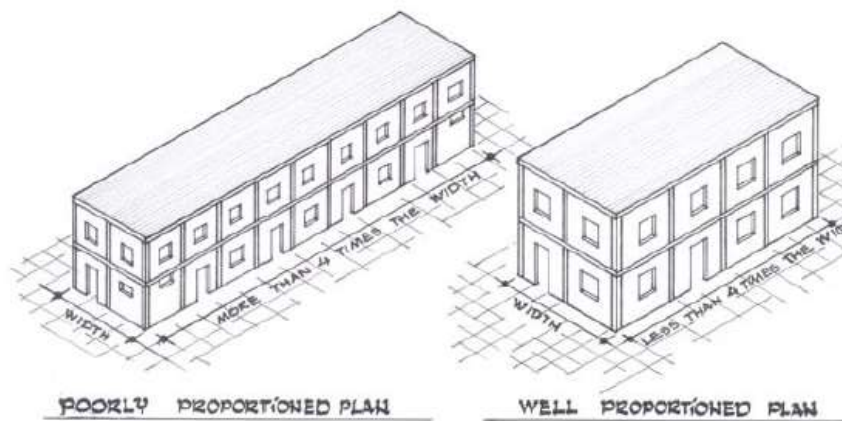


Gambar 2.2. Kriteria denah *irregular*.

Sumber : *Building Seismic Safety Council*. (2009).

2. Bangunan tidak terlalu panjang.

Idealnya, perbandingan panjang-lebar tidak melebihi 4. Pada *Gambar 2.3* menunjukkan contoh perencanaan panjang bangunan yang buruk dan perencanaan panjang bangunan yang baik.

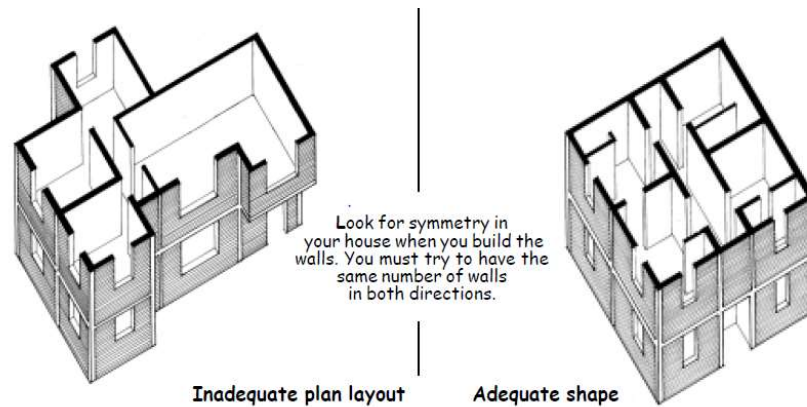


Gambar 2.3 Perbandingan panjang dan lebar bangunan.

Sumber : Brzev (2008).

3. Dinding simetris.

Dinding harus direncanakan secara simetris untuk meminimalkan efek torsional. Pada *Gambar 2.4* menunjukkan contoh distribusi dinding tidak simetris dan simetris. Gambar di kanan tidak ideal tapi masih lebih baik dari pada sebelah kiri.

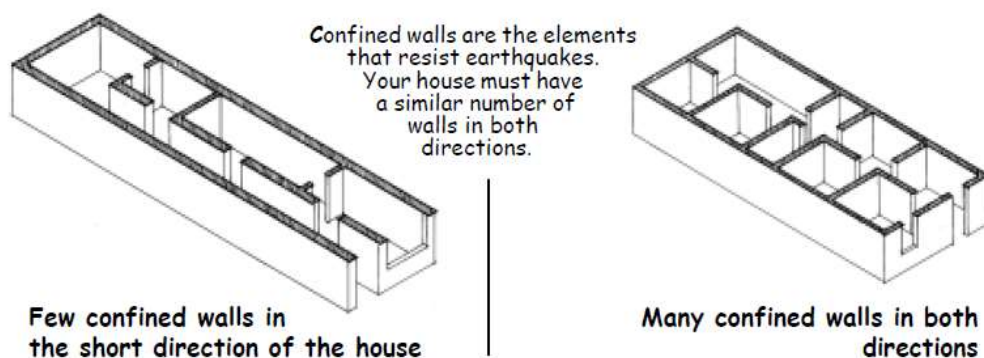


Gambar 2.4 Layout bangunan.

Sumber : Blondet (2005,p.11).

4. Jumlah dinding pada setiap arah.

Karena ketahanan bangunan terhadap gempa sebagian besar bergantung pada ketahanan terhadap gaya geser dinding, sangat penting bahwa jumlah yang memadai dan total panjang dinding berada pada setiap sisi. Pada *Gambar 2.5* menunjukkan contoh jumlah dinding tidak memadai dan jumlah dinding memadai.

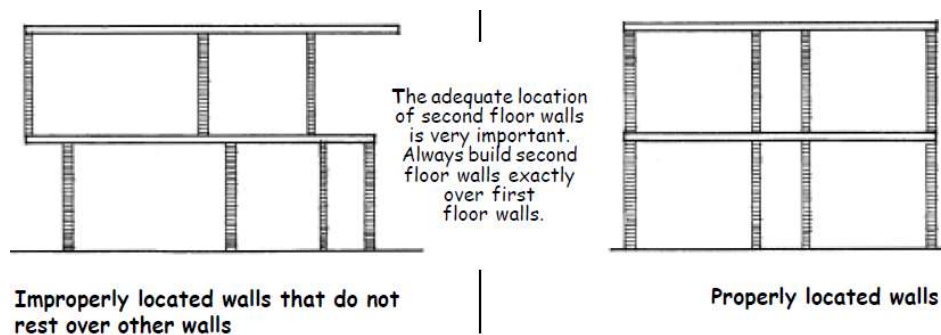


Gambar 2.5 Rencana distribusi dinding.

Sumber : Blondet (2005,p.13).

5. Dinding menerus.

Dinding harus selalu ditempatkan menerus, langsung diatas satu sama lain. Pada *Gambar 2.6* menunjukkan contoh dinding tidak menerus dan dinding menerus.

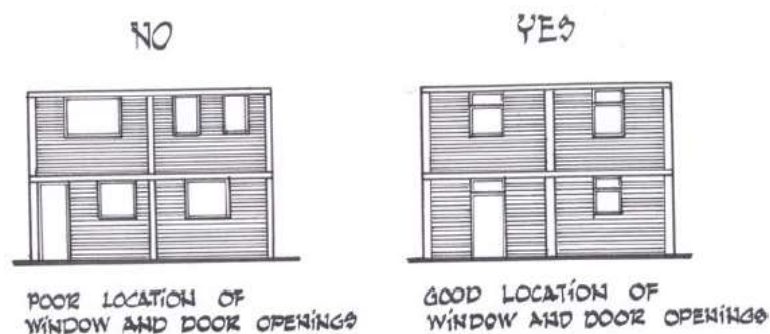


Gambar 2.6 Dinding menerus antar tingkat.

Sumber : Blondet (2005).

6. Lokasi bukaan (jendela dan pintu) menerus.

Lokasi bukaan (jendela dan pintu) harus berada di posisi yang sama tiap lantai. Pada *Gambar 2.7* menunjukkan contoh posisi dinding yang buruk dan posisi dinding yang baik.



Gambar 2.7 Lokasi bukaan pada bangunan.

Sumber : Blondet (2005).

Untuk bentuk bangunan dan distribusi dinding, dapat dihitung nilai eksentrisitas (e) berdasarkan jarak titik pusat massa terhadap kekakuan dinding. Berdasarkan SNI 1726 (2002) pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas (e) dikatakan kecil apabila nilai $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$ dengan b adalah lebar bangunan.

2.4 Komponen Bangunan

2.4.1 Dinding

Menurut Widomoko (1995), dinding bangunan yang terbuat dari batu merah dapat dibedakan menjadi dinding struktur dan dinding non struktur. Dinding struktur adalah dinding yang menahan beban bangunan biasanya terletak dimana tepi kuda-kuda menumpu pada dinding.

Di Indonesia, dinding biasanya terbuat dari batu merah. Menurut Frick (1980), Batu merah sendiri dibuat dari tanah liat, sekam padi, kotoran binatang, air dan pasir/semen merah yang diproduksi dalam skala *home industry* oleh masyarakat.

Batu merah memiliki persyaratan dimana batu merah harus mempunyai rusuk rusuk yang tajam dan siku bidang-bidang sisi harus datar, tidak menunjukkan retak-retak, tidak mudah hancur atau patah dan perubahan bentuk yang berlebihan. Bentuk lain yang disengaja karena percetakan diperbolehkan. Permukaannya batu merah harus kasar, warnanya merah seragam (merata) dan bunyinya nyaring bila diketok. Batu merah juga harus memiliki ukuran dan kuat tekan standar seperti pada *Tabel 2.1* dan *Tabel 2.2* berikut (Frick, 1980).

Tabel 2.1 Ukuran batu merah.

Ukuran	Jenis besar	Jenis kecil	Toleransi
Panjang	240 mm	230 mm	$\pm 3\%$. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 10 mm
Lebar	115 mm	110 mm	$\pm 4\%$. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 5 mm
Tebal	52 mm	50 mm	$\pm 5\%$. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 4 mm

Sumber: Frick (1980).

Tabel 2.2 Kuat Tekan batu merah.

Mutu batu merah	Kuat tekan rata-rata
Tingkat I (satu)	
tidak ada yang menyimpang	$> 10 \text{ N/mm}^2$
Tingkat II (dua)	
satu buah dari sepuluh benda percobaan	$10-8 \text{ N/mm}^2$
Tingkat II (tiga)	
dua buah dari sepuluh benda percobaan	$8-6 \text{ N/mm}^2$

Sumber: Frick (1980).

Kerapatan dinding adalah indikator kunci keamanan untuk ketahanan bangunan terhadap *seismic* dan gaya gravitasi. Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d , dimana persamaan:

$$d = A_w/A_p \quad (2-3)$$

Keterangan:

A_p = Luas pelat lantai bangunan.

A_w = Luas penampang dinding pada satu arah, didapat dari panjang dan lebar dinding. Luas tidak perlu dikurangi oleh luas ikatan kolom dan luas pori pada pasangan bata yang berlubang.

d = Kerapatan dinding (*wall density index*).

Tidak adanya detail perhitungan rencana, minimal nilai yang direkomendasikan untuk indeks kerapatan dinding seperti pada *Tabel 2.3* berikut.

Tabel 2.3 Indeks kerapatan dinding d (%) untuk setiap arah dari rencana bangunan.

Number of stories (n)	Bahaya seismik				
	Rendah ($\text{PGA} \leq 0,08 \text{ g}$)	Sedang ($\text{PGA}^a \leq 0,25 \text{ g}^b$)		Tinggi ($\text{PGA} \leq 0,4 \text{ g}$)	
	Tanah tipe A, B, dan C	Tanah tipe A	Tanah tipe B dan C	Tanah tipe A	Tanah tipe B dan C
	<i>Solid clay bricks</i> (mortar tipe I, II dan III)				
	<i>Solid concrete block</i> (mortar tipe I)				
1	1.0	1.0	1.0	1.5	2.5
2	1.5	1.5	2.0	3.0	4.5
	<i>Solid concrete block</i> (mortar tipe II dan III)				
	<i>Hollow concrete block</i> (mortar tipe I)				
	<i>Hollow clay tiles</i> (mortar tipe I)				
1	1.0	1.0	2.0	2.0	3.5
2	1.5	1.5	3.5	4.0	6.5
	<i>Hollow concrete block</i> atau <i>Hollow clay tiles</i> (mortar tipe II dan III)				
1	1.0	1.5	2.5	3.0	5.0
2	2.0	3.0	5.0	6.0	9.5

Sumber: Meli, dkk. (2011).

Keterangan:

^a PGA adalah *peak ground acceleration*.

^b g (gal) adalah satuan percepatan gempa di permukaan.

Tipe tanah:

A adalah batuan atau *firm soil*.

B adalah *compact granular soil*.

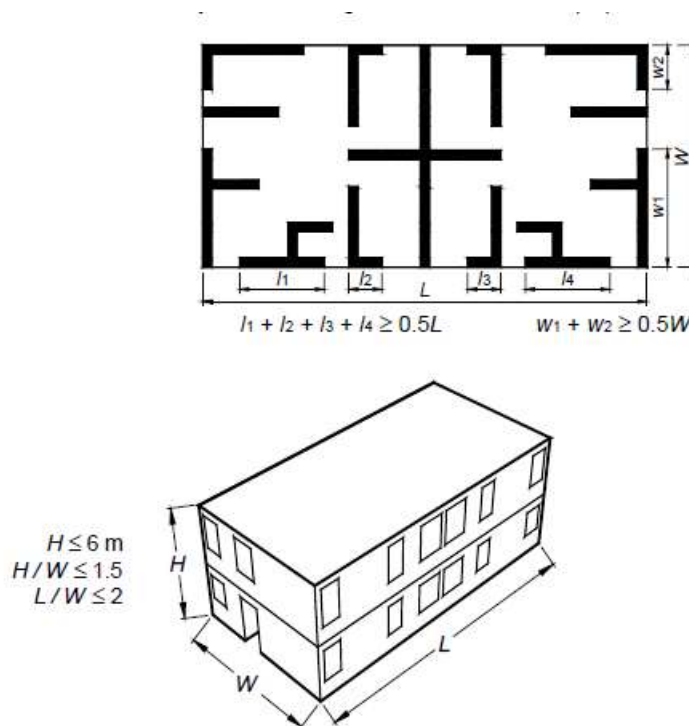
C adalah *soft clay* atau *soft sand*.

Nilai-nilai d ini dapat digunakan untuk "bangunan sederhana" yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Persyaratan umum:

- Rencana bangunan seragam (luas yang sama) tiap lantai.
- Layout* dinding simetris pada kedua arah ortogonal.
- Eksterior dinding meluas minimal 50% dari panjang tiap ujung gedung tiap lantai.

- d. Minimal 75% berat bangunan didukung oleh dinding tahan gempa.
2. Dimensi bangunan berdasarkan *Gambar 2.8*:
 - a. Total tinggi bangunan tidak lebih dari 6 m ($H \leq 6$).
 - b. Rasio total tinggi dengan lebar bangunan tidak lebih dari 1.5 ($H/W \leq 1.5$).
 - c. Rasio panjang dan lebar bangunan tidak lebih dari 2 ($L/W \leq 2$).
3. Lantai dan atap sebagai diafragma kaku (sama dengan tebal minimum beton bertulang 10 cm).
4. Dinding tahan gempa:
 - a. Sifat pasangan bata yang memenuhi spesifikasi kebutuhan.
 - b. Panel dinding padat (tanpa bukaan) disatukan dengan ikatan kolom dan balok pada keempat sisi.
 - c. Dinding menerus sampai tinggi bangunan dan menyambung dengan lantai atau atap.
 - d. Semua dinding dibuat dengan materi dan sifat yang sama.



Gambar 2.8 Kebutuhan untuk “bangunan sederhana”.

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Minimum spasi dinding melintang pada bangunan dengan diafragma yang fleksibel tidak melebihi:

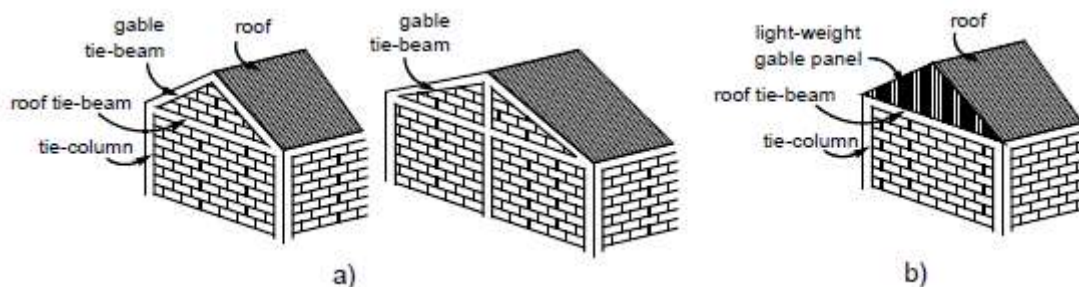
1. 6 m untuk daerah seismik rendah dan sedang, dan
2. 4,5 m untuk daerah seismik tinggi dan sangat tinggi.

Dimensi dinding dan pembatasan rasio tinggi/lebar berdasarkan poin berikut:

1. Minimal lebar dinding 110 mm
2. Rasio maksimal tinggi dan lebar dinding untuk bangunan 1 atau 2 lantai tidak melebihi 25.
3. Rasio tinggi dan panjang panel dinding tidak kurang dari 0,5
4. Tinggi dinding maksimal 3 m.

Beton pada kolom dan balok harus memanjang sampai tinggi *parapet* seperti pada gambar. Apabila *parapet* tidak terikat, tinggi tidak boleh melebihi 0,5 m, atau batas tinggi 1,2 m.

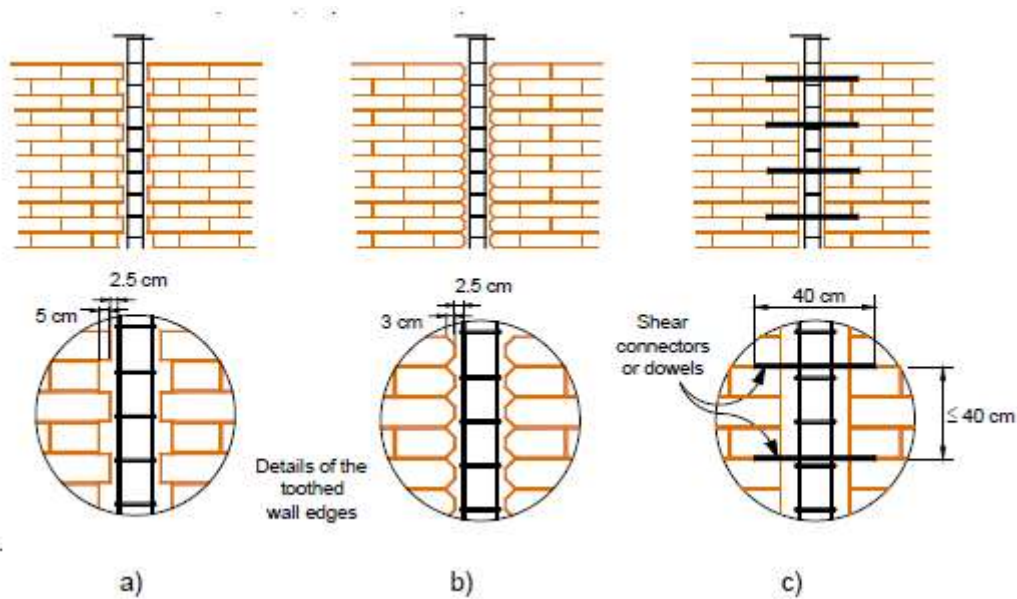
Direkomendasikan pada atas *gable* terikat dengan balok dan kolom terletak di tengah dinding *gable* yang memanjang dari dasar lantai hingga atas dinding *gable* seperti pada Gambar 2.9. Alternatif lain, bagian *gable* pada dinding dapat dibuat dari kayu atau material ringan lainnya.



Gambar 2.9 Dinding *gable*: a) pembatasan elemen beton, dan b) panel *gable* ringan.

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Ikatan yang baik antara dinding dengan kolom sangat penting untuk menahan gaya gempa dan untuk menunda keretakan yang tidak diinginkan dan pemisahan dinding dengan permukaan kolom. Ikatan sangat berpengaruh pada bangunan tahan gempa dan didapatkan dari *toothing* dinding dan permukaan kolom seperti pada Gambar 2.9. Panjang *toothing* harus sama dengan satu per empat dari panjang unit pasangan bata tapi tidak kurang dari 5 m seperti pada gambar. Pembersihan bagian *toothing* perlu dilakukan dan pemotongan pinggir bata. Tulangan horizontal di angkur pada kolom, disebut *dowels*, dapat digunakan sebagai alternatif *toothing* seperti pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Tothing pada dinding: a) *machine-made hollow unit*, b) *hand-made solid unit*, dan c) ketentuan tulangan horizontal ketika *tothing* tidak memungkinkan.

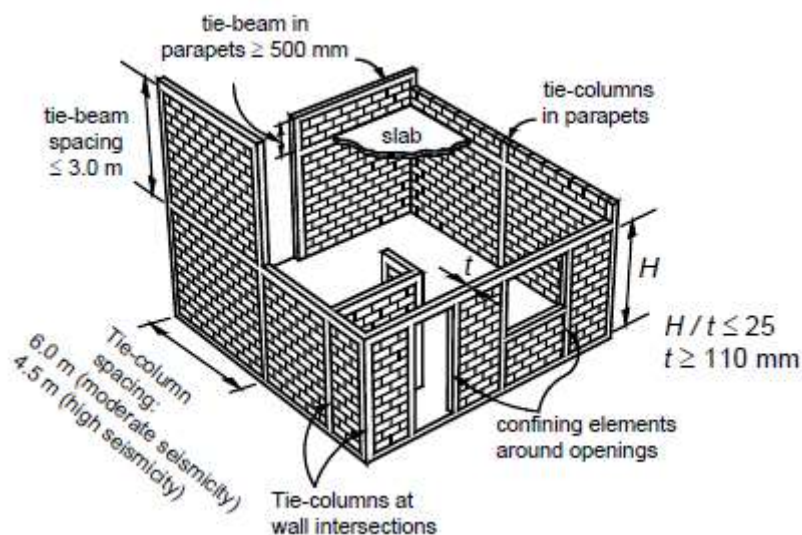
Sumber : Meli, dkk. (2011).

2.4.2 Komponen pengikat (kolom dan balok)

Spasi kolom tidak boleh melebihi 4,5 m untuk daerah seismik tinggi dan 6 m untuk daerah seismik sedang seperti pada Gambar 2.12. Dimensi dinding adalah 150 mm x tebal dinding. Kolom harus disediakan pada lokasi berikut:

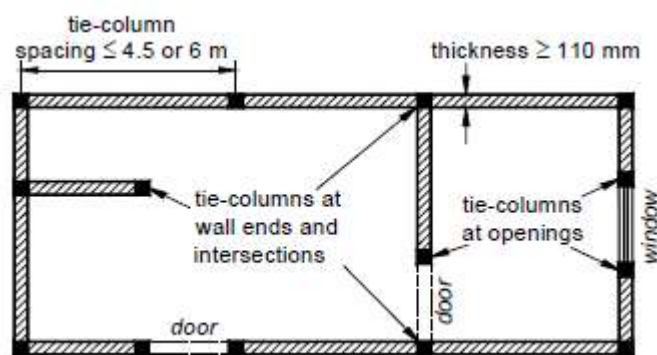
1. Pada persimpangan dinding, dan
2. Pada ujung panel dinding yang menyediakan ketahanan gaya lateral pada bangunan.

Balok harus ada pada setiap atas dinding dengan maksimum spasi 3 m. Dimensi balok sama dengan dimensi kolom. Direkomendasikan berdasarkan lokasi dan spasi elemen pengikat seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rekomendasi ikatan bangunan non struktur tahan gempa.

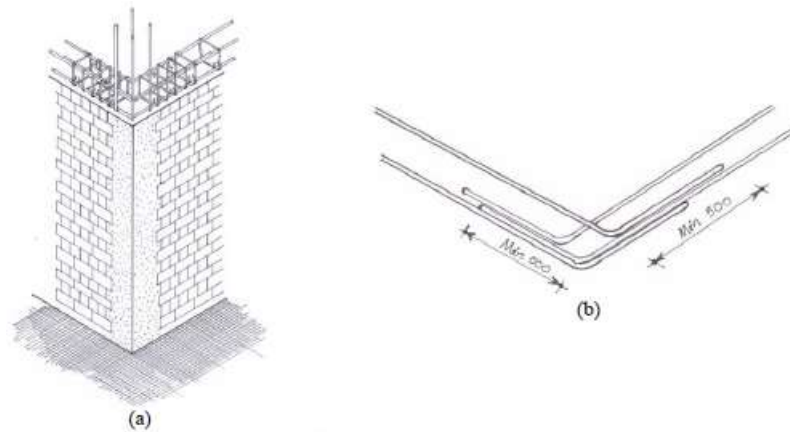
Sumber : Meli, dkk. (2011).



Gambar 2.12 Lokasi kolom.

Sumber : Meli, dkk. (2011).

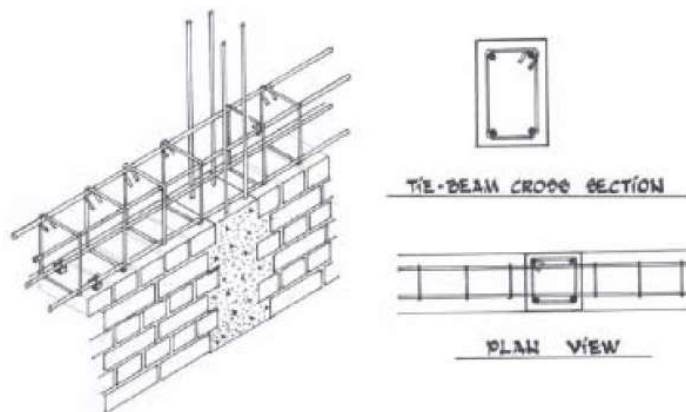
Tulangan longitudinal (kolom dan balok) minimal memiliki 4 tulangan dengan ukuran diameter minimum tulangan ulir 10 mm atau 12 mm untuk tulangan polos. Untuk memastikan efeknya kolom dalam menahan beban gempa, tulangan harus memiliki kait 90° pada setiap simpangan seperti pada *Gambar 2.13*.



Gambar 2.13 Konstruksi balok: a) simpangan dinding; b) Ketentuan kait pada tulangan longitudinal.

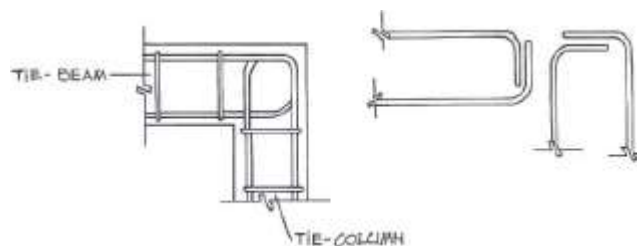
Sumber : Brzev (2008).

Detail yang benar untuk ikatan kolom-balok harus dapat menahan gempa untuk seluruh bangunan. Pada *Gambar 2.14* menunjukkan detail tulangan untuk ikatan balok kolom pada join. Pada atap, sambungan tulangan kolom dan balok dengan mengaitkan 90° untuk setiap tulangan balok dan kolom seperti pada *Gambar 2.15*.



Gambar 2.14 Detail tulangan balok.

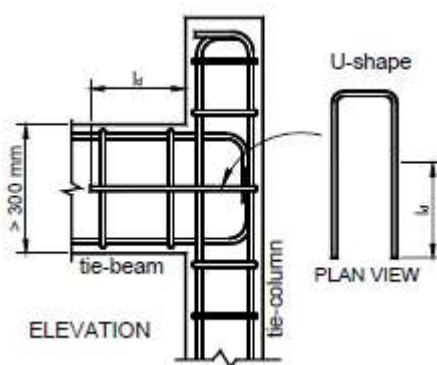
Sumber : Brzev (2008).



Gambar 2.15 Kait tulangan longitudinal kolom dan balok.

Sumber : Brzev (2008).

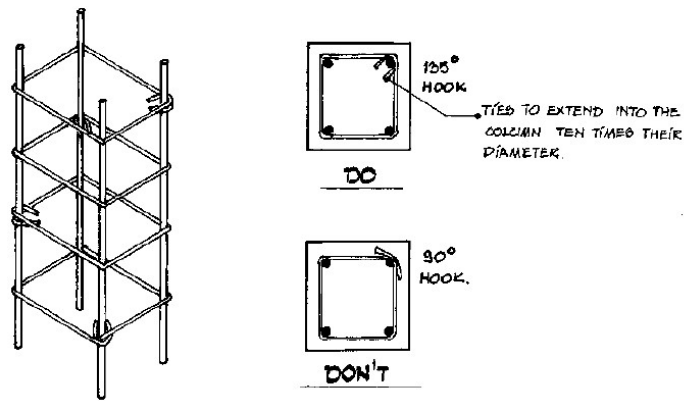
Apabila balok melebihi 300 mm, tulangan pada kolom harus menggunakan pengikat, bawah dan atas join. Tambahan *U-shaped stirrup* pada bagian tengah tinggi balok seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Tambahan pengikat untuk tulangan vertikal pada ujung join kolom dan balok.

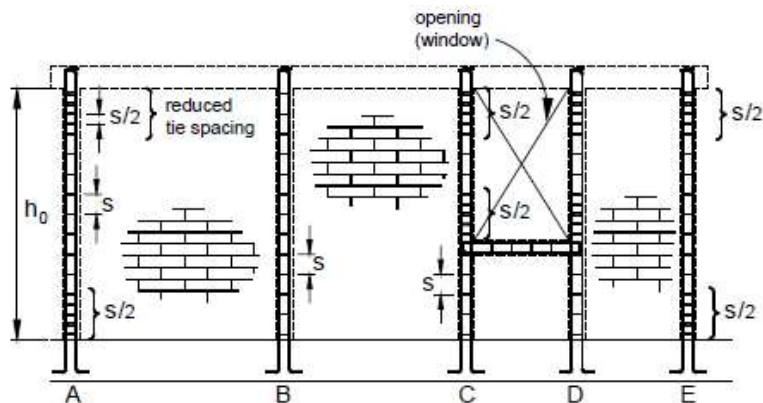
Sumber : Meli, dkk. (2011).

Ikatan sengkang menggunakan diameter minimum 6 mm dan dikait 135° dan spasi tidak boleh melebihi 200 mm berlaku pada kolom dan balok seperti pada Gambar 2.17. Pada daerah seismik tinggi dan sangat tinggi, pengurangan spasi ($S/2$) diperlukan pada ujung kolom seperti pada Gambar 2.18. Panjang sengkang yang telah dikurangi tidak boleh melebihi 2 kali dimensi kolom ($2b$) dan $h_0/6$ dimana h_0 adalah tinggi bersih kolom. Pada daerah seismik sedang, sengkang seragam dengan jarak 200 mm digunakan sepanjang kolom tanpa memerlukan pengurangan jarak spasi.



Gambar 2.17 Layout dan detail sengkang.

Sumber : Brzev (2008).

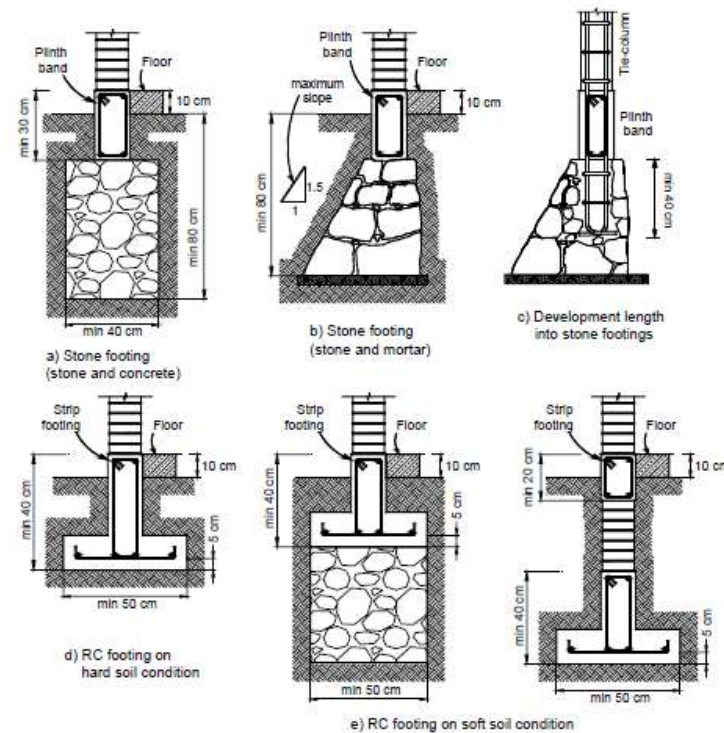


Gambar 2.18 Pengurangan spasi sengkang pada ujung kolom.

Sumber : Meli, dkk (2011).

2.4.3 Konstruksi pondasi dan sloof

Konstruksi pondasi harus memiliki kesamaan dengan konstruksi tradisional pada pasangan batu belah baik menggunakan pasangan batu belah atau beton pondasi menerus. Balok sloof diletakkan diatas pondasi untuk mengikat dasar panel dinding dan untuk menghindari kerusakan dinding besar terhadap dasar bangunan tanah lunak. Panjang tulangan kolom harus sampai pada balok sloof dan apabila memungkinkan sampai pondasi. Perbedaan solusi pondasi seperti pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Detail pondasi untuk konstruksi tahan gempa.

Sumber : Meli, dkk (2011).

2.5 Perhitungan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726 (2012), Untuk penentuan respon spektrum percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v) memiliki nilai berdasarkan Tabel 2.4 dan Tabel 2.5. Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-4)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2-5)$$

Keterangan:

S_1 = parameter respons spektral gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

S_s = parameter respons spektral gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek.

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a .

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s \leq 0,2$	$S_s \leq 0,3$	$S_s \leq 0,4$	$S_s \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726 (2012).

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v .

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726 (2012).

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-6)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-7)$$

Spektrum respons desain dikembangkan dengan mengacu pada *Gambar 2.20* dan mengikuti ketentuan berikut ini:

- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2-8)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ,
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-9)$$

Keterangan:

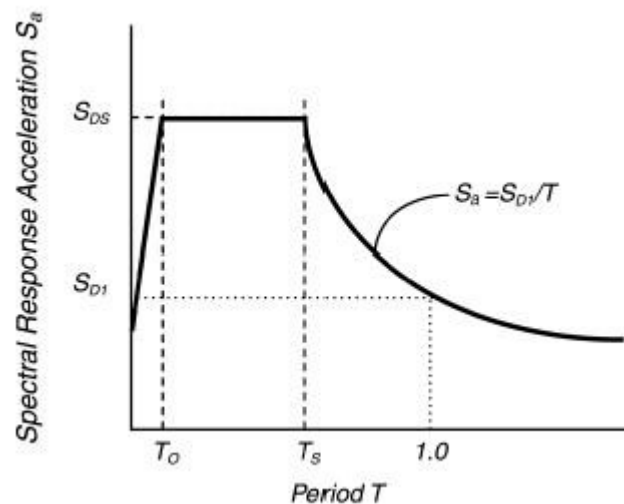
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-10)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-11)$$



Gambar 2.20 Spektrum respons desain.

Sumber : SNI 1726 (2012).

2.5.1 Gaya Lateral Ekvivalen

Berdasarkan SNI 1726 (2012), Geser dasar seismik, V_u , dalam arah yang ditetapkan harus sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_u = C_s W_T \quad (2-12)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik.

W_T = berat seismik efektif.

Koefisien respons seismik, C_s , ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-13)$$

Keterangan:

I_e = faktor keutamaan gempa.

R = faktor modifikasi respons.

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2-13 tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-14)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{D1} I_e \geq 0,01 \quad (2-15)$$

2.6 Metode Sederhana untuk Perhitungan Kerapatan Dinding

Berdasarkan Meli, dkk. (2011), metode ini digunakan untuk menghitung indeks kerapatan dinding, d . Pengembangan metode ini diatur dengan asumsi bahwa keamanan bangunan diatur berdasarkan keruntuhan geser pada dinding, sengkang pada ikatan kolom diasumsikan mampu menahan kekuatan lentur pada bangunan.

2.6.1 Kontrol Kapasitas Seismik Menggunakan *Wall Desity Index*

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$) seperti pada kriteria berikut:

$$F_R V_R \geq F_C V_U \quad (2-16)$$

Keterangan:

V_R = gaya geser seismik pada tiap lantai.

V_U = gaya geser seismik.

F_R = faktor reduksi = 0,7.

F_C = faktor beban = 1,1.

Persamaan diatas dapat menjadi seperti berikut:

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s \quad (2-17)$$

Keterangan:

F_s = faktor untuk keamanan kapasitas seismik = $1,1/0,7 = 1,6$.

Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, tergantung pada properti bangunan dan kondisi situs. Gaya seismik dapat dihitung dengan mengalikan total berat bangunan (W_T) dengan koefisien respons seismik (C_s), seperti pada persamaan 2-12. Berat bangunan (W_T) dihitung dengan persamaan berikut:

$$W_T = A_p n w \quad (2-18)$$

Keterangan:

A_p = luas lantai.

w = beban per satuan luas dari lantai/atap.

n = jumlah lantai.

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap arah pada kedua arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kuat geser dinding (v) dan total luas efektif dinding (A_w). Gaya geser seismik didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$V_R = v A_w \quad (2-19)$$

Keterangan:

A_w = total luas efektif dinding sama dengan jumlah luas penampang dinding (panjang x tebal) untuk semua arah dinding yang dievaluasi.

v = kuat geser dinding.

Luas penampang dinding tidak dimasukkan pada perhitungan A_w apabila rasio tinggi-panjang lebih dari 1,5 ($H/L > 1,5$) dan dinding dengan bukaan dimana luas bukaan lebih dari 10% dari luas permukaan dinding.

Kuat geser dasar dinding (v_m) tergantung pada jenis dinding dan mortar yang digunakan didapatkan berdasarkan *Tabel 2.6*. Kuat geser dinding (v) didapatkan melalui persamaan berikut:

$$v = (0,5v_m + 0,3\sigma_u) \leq 1,5v_m \quad (2-20)$$

Tabel 2.6 Basic shear strength of masonry (v_m).

Type of masonry unit	Type of mortar	Basic shear strength (v_m) MPa (kg/cm ²)
Solid clay bricks	I	0.35 (3.5)
	II and III	0.30 (3.0)
Hollow clay units	I	0.30 (3.0)
	II and III	0.20 (2.0)
Hollow concrete blocks	I	0.35 (3.5)
	II and III	0.25 (2.5)
Solid concrete blocks	I	0.30 (3.0)
	II and III	0.20 (2.0)

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Dengan σ_u adalah rata-rata tegangan tekan pada daya dukung dinding akibat gaya gravitasi. Nilai tegangan σ_u adalah positif untuk tekan, apabila terjadi tegangan tarik pada dinding maka nilai σ_u diambil 0. Untuk lantai pertama, nilai σ_u didapatkan dari persamaan berikut:

$$\sigma_u = \frac{W_T}{\sum A_w} = \frac{n w A_p}{\sum A_w} = \frac{n w}{\sum A_w / A_p} = \frac{n w}{\sum d} \quad (2-21)$$

$$\sum d = d_x + d_y \quad (2-22)$$

Keterangan:

A_p = luas lantai rencana pada satu lantai.

$\sum A_w$ = jumlah luas penampang untuk semua dinding pada lantai satu.

σ_u = rata-rata tegangan tekan.

n = jumlah lantai.

v_m = *basic shear strength*.

w = berat lantai/atap per luas.

Berdasarkan persamaan sebelumnya, rasio gaya geser seismik tiap lantai (V_R) dengan gaya seismik (V_U) sama dengan:

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{v A_w}{c_s n w A_p} = \frac{v}{c_s n w} d \quad (2-23)$$

$$\frac{v}{c_s n w} d \geq F_s$$

$$d \geq \frac{F_s C_s n w}{v} \quad (2-24)$$

2.6.2 Kebutuhan Kerapatan Dinding terhadap Beban Gravitasi

Untuk kontrol sederhana rata-rata tegangan normal, digunakan persamaan berikut.

$$F_R \sigma_R \geq F_C \sigma_U \quad (2-25)$$

Keterangan

σ_R = kuat tekan dinding.

σ_U = rata-rata tegangan tekan.

F_R = faktor reduksi = 0,6.

F_C = faktor beban = 1,4.

Faktor keamanan untuk beban gravitasi (F_s) didapat dari:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq F_s = 2,33 \quad (2-26)$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_u) didapat dari persamaaan 2-21. Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapatkan berdasarkan *Tabel 2.7* Penambahan 4 kg/cm² (0,4 MPa) pada f_m' untuk memperhitungkan kontribusi dari ikatan kolom ke kekuatan dinding, maka:

$$\sigma_R = F_E (f_m' + 4) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2-27)$$

$$\sigma_R \geq F_s \sigma_U$$

$$\sigma_R \geq F_s \frac{n w A_p}{\sum A_w} = F_s \frac{n w}{\sum d}$$

$$\sum d \geq F_s \frac{n w}{\sigma_R} \quad (2-28)$$

Keterangan:

F_E = 0,7 untuk dinding interior.

F_E = 0,6 untuk dinding eksterior.

f_m' = *design compressive strength*.

Tabel 2.7 *Design compressive strength of masonry (f_m').*

Type of masonry unit	Design compressive strength (f_m') MPa (kg/cm ²)		
	Type of Mortar		
	I	II	III
<i>Solid clay bricks</i>	1.5 (15)	1.5 (15)	1.5 (15)
<i>Hollow clay units</i>	4.0 (40)	4.0 (40)	3.0 (30)
<i>Hollow concrete blocks</i>	2.0 (20)	1.5 (15)	1.0 (10)
<i>Solid concrete blocks</i>	2.0 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Kontrol kekuatan daya dukung pada dinding kritis tidak cukup hanya dengan dinding dapat menahan beban gravitasi karena hanya mempertimbangkan rata-rata tegangan normal (tekan) pada dinding di suatu lantai. Keamanan bangunan untuk gaya gravitasi diatur oleh gaya gravitasi terbesar per panjang pada dinding kritis. Pendekatan yang benar adalah kontrol keamanan setiap dinding. Bangunan dikatakan aman apabila kemampuan daya dukung pada tiap lantai ($F_R P_R$) besar dari beban gravitasi yang difaktorkan ($F_C P_U$).

$$F_R P_R \geq F_C P_U \quad (2-29)$$

Atau

$$\frac{P_R}{P_U} \geq F_s \quad (2-30)$$

Keterangan:

F_s = faktor keamanan untuk beban gravitasi = 2,333.

P_R = kemampuan daya dukung untuk dinding.

P_U = beban gravitasi.

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai pada bangunan.

$$P_U = n w D B L = n w TA \quad (2-31)$$

Keterangan:

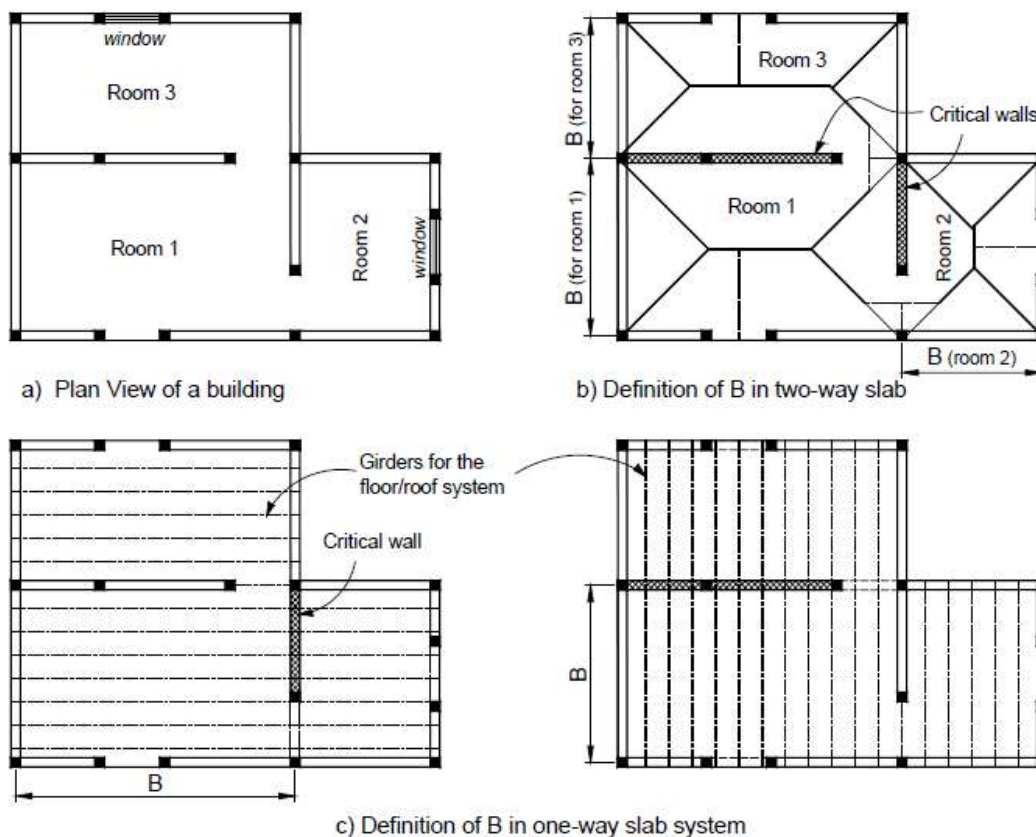
B = jarak antar tengah dinding yang berdekatan.

D = faktor beban vertikal yang didistribusikan pada dinding.

L = panjang lantai.

TA = *tributary area*.

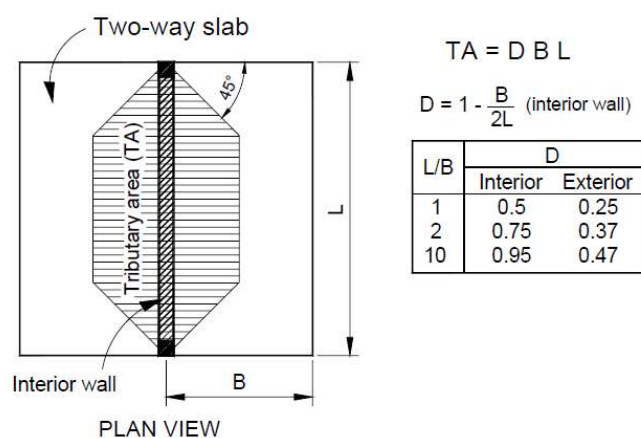
B menunjukkan jarak antar tengah dinding yang berdekatan seperti pada *Gambar 2.21* berikut. Untuk sistem pelat dua arah, B dapat diambil jarak terkecil dari dua arah orthogonal.



Gambar 2.21 Jarak antar tengah dinding.

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Tributary area (TA) pada dinding kritis diperkirakan sebagai hasil dari jarak B dan panjang dinding (L), seperti pada *Gambar 2.22* berikut.



Gambar 2.22 Tributary area (TA).

Sumber : Meli, dkk. (2011).

Nilai D adalah faktor yang memperhitungkan beban vertikal yang didistribusikan pada dinding. Nilai D bergantung pada rasio L/B dan lokasi dinding (interior/eksterior), seperti pada *Gambar 2.21*. nilai D berikut dapat digunakan pada perhitungan:

D = 1,0 untuk pelat satu arah

D = 0,7 untuk pelat dua arah

Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan:

$$P_R = \sigma_R A = F_E (f'_m + 4) A \quad (2-32)$$

$$A = t L \quad (2-33)$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{\sigma_R t L}{D n w B L} \geq F_s$$

$$\frac{B}{t} \leq \frac{\sigma_R}{F_s D n w} \quad (2-34)$$

Keterangan:

t = tebal dinding.

Pada *Tabel 2.6* berikut memuat maksimum rasio B/t yang diizinkan untuk perbedaan tipe material dinding dan jumlah lantai (n).

Tabel 2.8 Maksimum rasio B/t untuk sistem pelat dua arah.

Masonry design compressive strength (f'_m) MPa (kg/cm ²)	Maximum B/t ratio		Masonry units
	1-story (n=1)	2-story (n=2)	
1,0 (10)	75	38	Hollow concrete blocks (mortar Type III)
1,5 (15)	102	51	Solid clay bricks, solid or hollow concrete blocks
2,0 (20)	129	64	Solid or hollow concrete blocks (mortar Type I)
3,0 (30)	182	91	Hollow clay units (mortar Type III)
4,0 (40)	236	118	Hollow clay units (mortar Type I or II)

Sumber : Meli, dkk. (2011).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Umum Bangunan Rumah Tinggal

Bangunan yang menjadi obyek dalam kajian ini adalah :

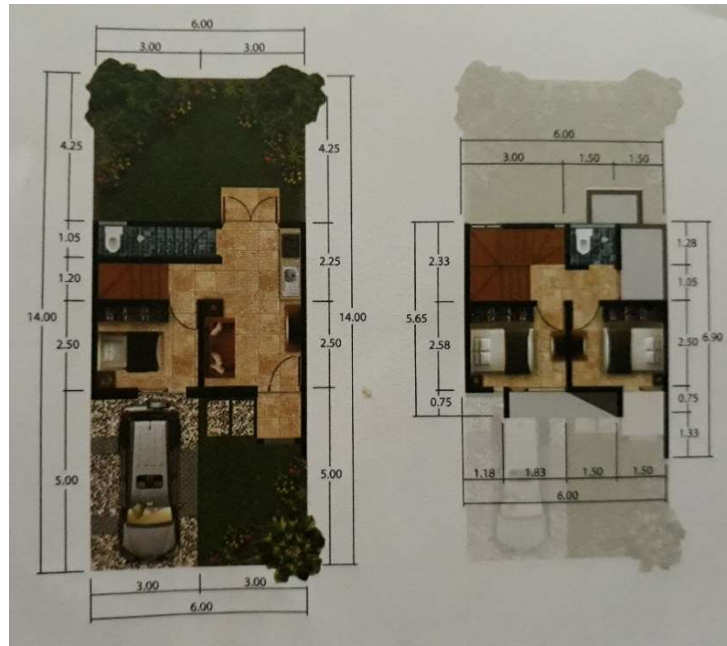
Fungsi	: rumah tinggal.
Jumlah lantai	: 2 lantai.
Tipe bangunan	: tipe 45 <i>extension</i> , tipe 56 dan tipe 56 <i>extension</i> .
Struktur	: beton bertulang.
Dinding	: bata merah finishing plester, aci, cat.
Ukuran balok	: 20 x 30 cm, balok ring 15 x 20 cm.
Ukuran kolom	: lantai 1 20 x 25 cm, lantai 2 15 x 20 cm.
Tinggi tiap Lantai	: 3 m.

3.2 Preliminary Design

Bangunan yang dimodelkan dalam analisis ini adalah rumah tinggal tipe 45 *extension*, tipe 56 dan tipe 56 *extension* berlokasi di Kota Malang memiliki luas lahan 84 m². Berikut ini adalah denah pada brosur pada *Gambar 3.1* untuk tipe 45 *extension*, *Gambar 3.2* tipe 56 dan *Gambar 3.3* tipe 56 *extension*.



Gambar 3.1 Denah rumah tinggal tipe 45 *extension*

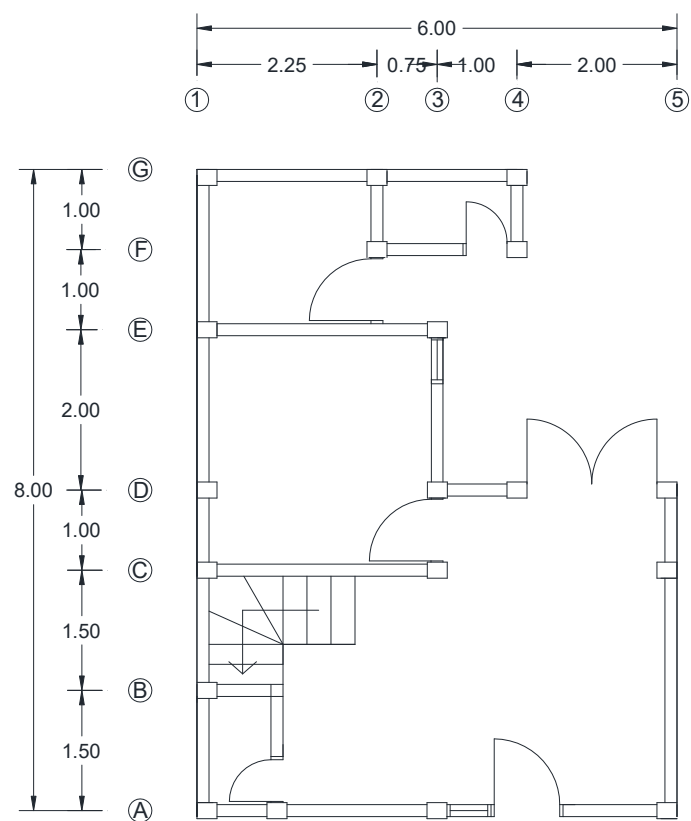


Gambar 3.2 Denah rumah tinggal tipe 56

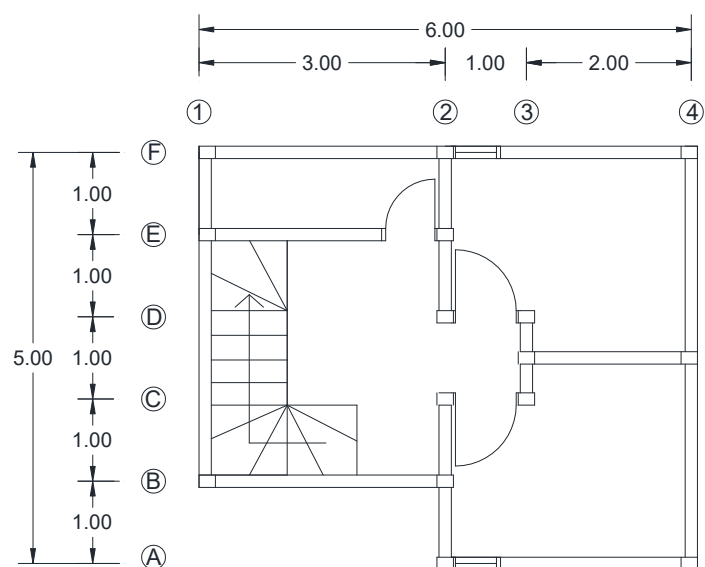


Gambar 3.3 Denah rumah tinggal tipe 56 extension

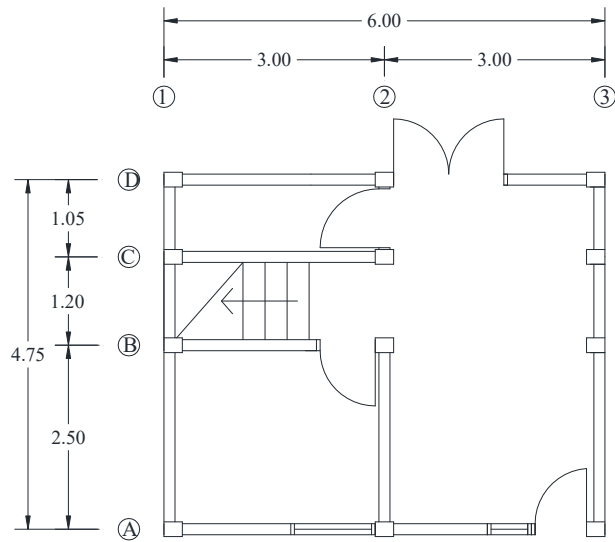
Denah digambar ulang menggunakan autocad. Untuk tipe 45 *extension* lantai 1 dan 2 diperlihatkan pada *Gambar 3.4* dan *Gambar 3.5*. Untuk tipe 56 lantai 1 dan 2 diperlihatkan pada *Gambar 3.6* dan *Gambar 3.7*. Untuk tipe 56 *extension* lantai 1 dan 2 diperlihatkan pada *Gambar 3.8* dan *Gambar 3.9*.



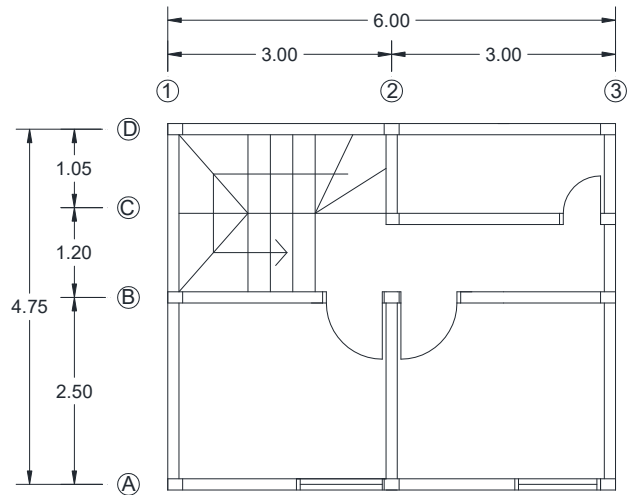
Gambar 3.4 Denah rumah tinggal tipe 45 extension lantai 1



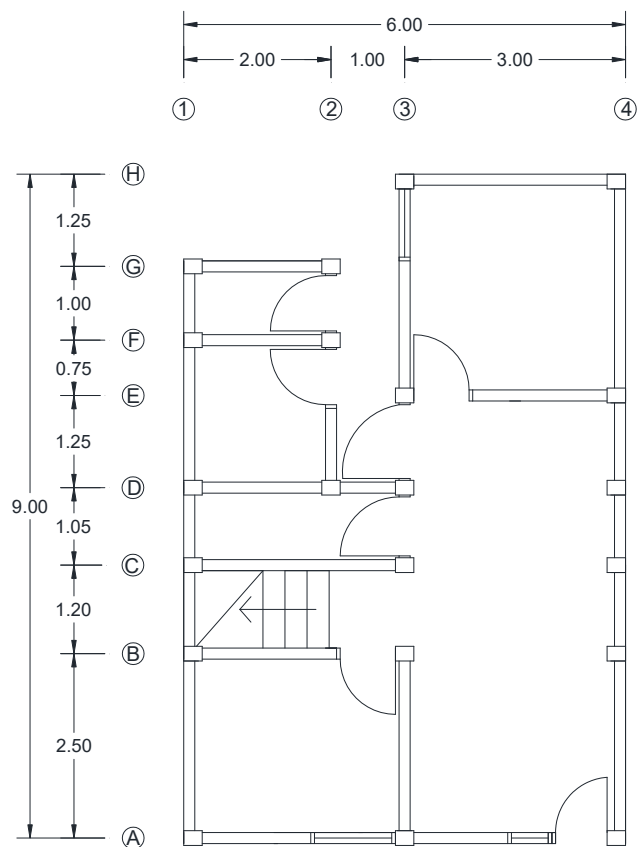
Gambar 3.5 Denah rumah tinggal tipe 45 lantai 2



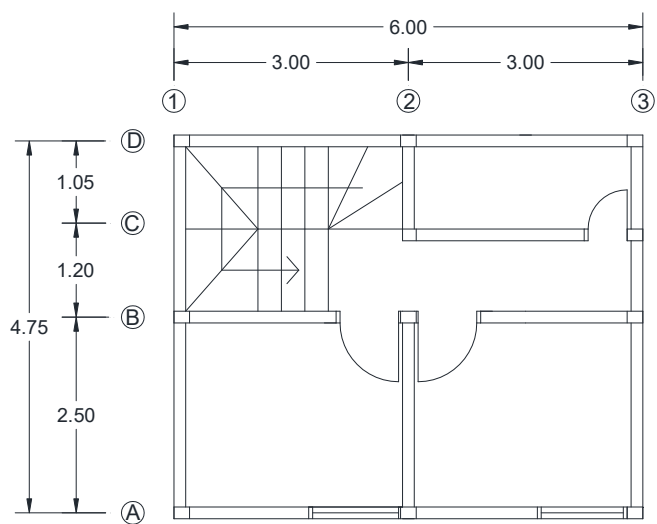
Gambar 3.6 Denah rumah tinggal tipe 56 lantai 1



Gambar 3.7 Denah rumah tinggal tipe 56 lantai 2



Gambar 3.8 Denah rumah tinggal tipe 56 extension type lantai 1



Gambar 3.9 Denah rumah tinggal tipe 56 extension type lantai 2

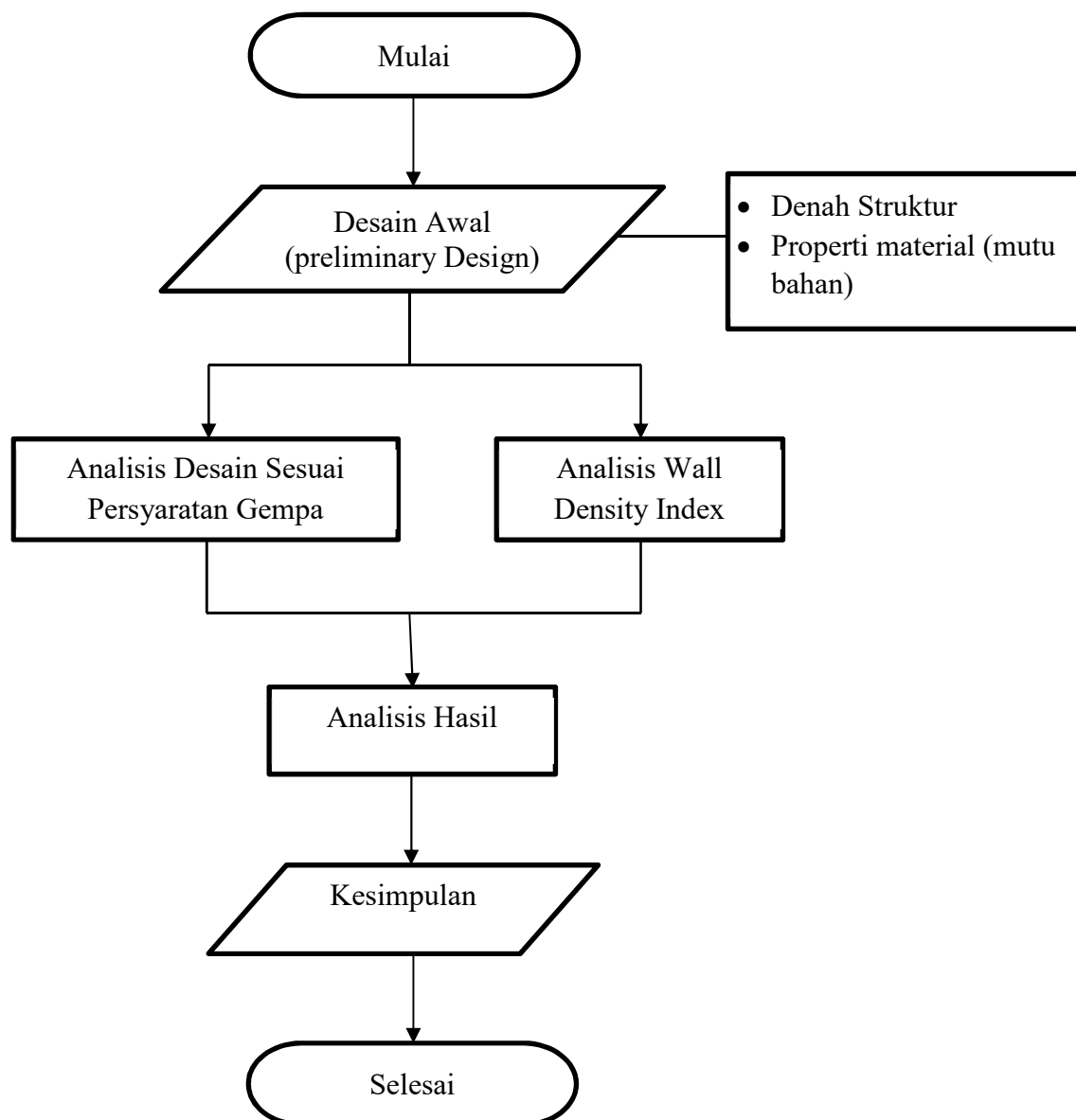
3.3 Langkah-langkah Analisis Struktur

Adapun langkah-langkah dalam kajian ini sebagai berikut:

1. Membuat desain denah rumah tinggal tipe 45 *extension*, tipe 56 dan tipe 56 *extension*.
2. Bandingkan desain denah rumah sesuai dengan persyaratan gempa.
3. Evaluasi beban gempa dasar struktur yang di hasilkan dari perhitungan beban struktur dengan mempertimbangkan waktu getar alami struktur sesuai dengan peraturan, lalu didapatkan gaya geser seismik.
4. Menghitung kerapatan dinding (d) dengan menggunakan metode *wall density index*.
5. Menghitung beban struktur bangunan sesuai dengan material yang digunakan pada bangunan tersebut.
6. Menghitung kapasitas seismik menggunakan *wall density index*.
7. Menghitung kebutuhan kerapatan dinding berdasarkan beban gravitasi.
8. Evaluasi kemampuan daya dukung dinding untuk dinding kritis terhadap beban gempa.
9. Analisis hasil dari metode *wall density index* dan perbandingan desain awal dengan persyaratan gempa.
10. Kesimpulan berupa tipe rumah yang dikaji memenuhi persyaratan gempa atau tidak.

3.4 Diagram Alir Analisis

Untuk lebih mudah memahami, dibuat diagram alir berdasarkan langkah-langkah analisis. pada *Gambar 3.10* menunjukkan diagram alir analisis kajian ini dari awal hingga akhir.



Gambar 3.10 Diagram alir analisis

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan Denah dengan Persyaratan Gempa

Dalam mendesain rumah tinggal, penting untuk mengikuti persyaratan teknis desain bangunan. Berikut ini adalah denah rumah yang dikaji dibandingkan dengan persyaratan teknis bangunan menurut Blondet (2005), Brzev (2008).

4.1.1 Bentuk Bangunan Simetris

Bentuk denah bangunan gedung sedapat mungkin simetris dan sederhana, guna mengantisipasi kerusakan diakibatkan oleh gempa seperti pada *Gambar 2.1*. Berikut ini perhitungan untuk mengetahui bangunan *irregular* atau tidak untuk masing-masing tipe. Namun perlu diketahui besarnya eksentrisitas akibat dari bentuk bangunan sehingga dapat menentukan bahwa bentuk bangunan masih diizinkan atau tidak.

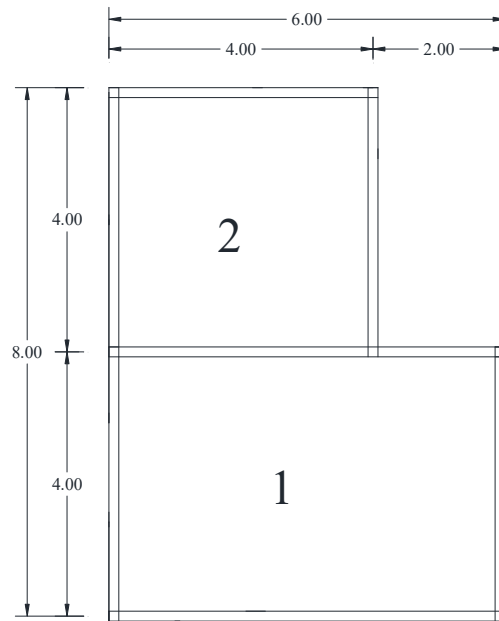
1. Denah rumah tipe 45 *extension*

Berdasarkan *Building Seismic Safety Council* (2009), untuk menentukan denah bangunan *irregular* harus mengikuti syarat pada persamaan 2-1 dan 2-2.

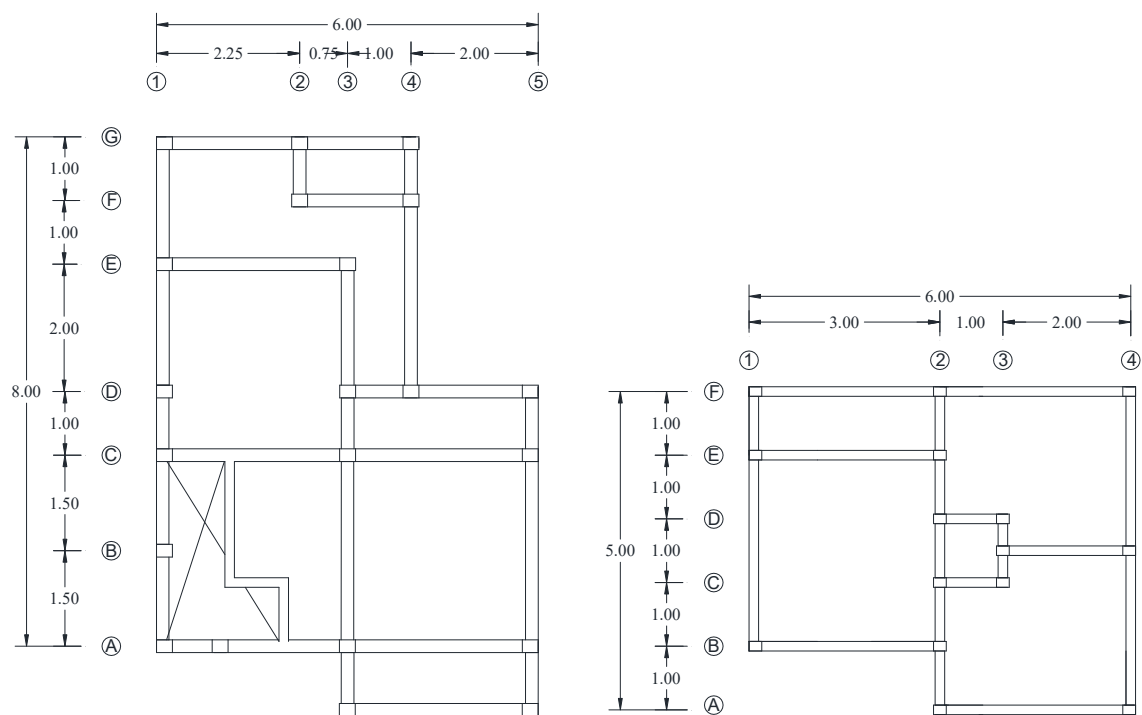
$$\frac{x_p}{x} = \frac{2}{6} = 0,33 > 0,15$$

$$\frac{y_p}{y} = \frac{4}{8} = 0,5 > 0,15$$

Dari perhitungan diatas, rumah tipe 45 *extension* memiliki bentuk *irregular*. Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi 2 daerah yaitu daerah 1 dan 2 seperti pada *Gambar 4.1*. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan denah balok dan kolom pada *Gambar 4.2*. Perhitungan beban untuk daerah 1 dan 2 pada *Tabel 4.1*, *Tabel 4.2*, dan *Tabel 4.3*.



Gambar 4.1 Pembagian daerah 1 dan 2 denah tipe 45 extension.



Gambar 4.2 Denah balok lantai 1 dan 2 rumah tipe 45 extension.

Tabel 4.1 Beban daerah 1 denah tipe 45 extension.

Beban daerah 1			
1. Beton (2400 kg/m ³)			
Balok			
3,06 x 2400	=	7344	kg
Kolom			
2,4 x 2400	=	5760	kg
Pelat			
27 x 0,12 x 2400	=	7776	kg
2. Dinding (250 kg/m ²)			
114,15 x 250	=	28537,5	kg
3. Keramik (24 kg/m ²)			
27 x 24	=	648	kg
4. Spesi (21 kg/m ²)			
27 x 21	=	567	kg
5. Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
51 x 18	=	918	kg
6. Atap (50 kg/m ²)			
43,948 x 50	=	2197,394	kg
Jumlah		=	53747,89 kg

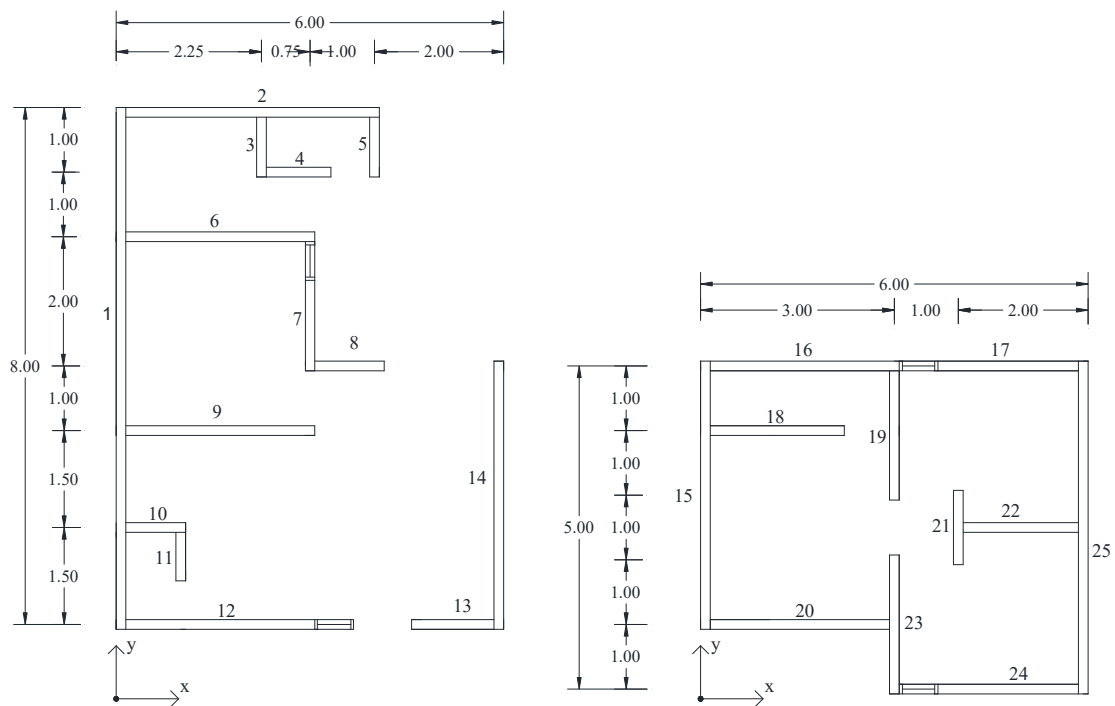
Tabel 4.2 Beban daerah 2 denah tipe 45 extension.

Beban daerah 2			
1. Beton (2400 kg/m ³)			
Balok			
1,1838 x 2400	=	2841,12	kg
Kolom			
0,525 x 2400	=	1260	kg
Pelat			
16 x 0,12 x 2400	=	4608	kg
2. Dinding (250 kg/m ²)			
23,325 x 250	=	5831,25	kg
3. Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
16 x 18	=	288	kg
Jumlah		=	14828,37 kg

Tabel 4.3 Pusat massa denah tipe 45 extension.

No	w (kg)	x (m)	y (m)	w.x	w.y
1	53747,89	3	3	161243,7	161243,7
2	14828,37	1,5	7	22242,56	103798,6
Σ	68576,26			183486,2	265042,3
				$\bar{x} =$	2,675652
				$\bar{y} =$	3,864927

Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat massa pada Tabel 4.4 dan penomoran dinding pada Gambar 4.3.



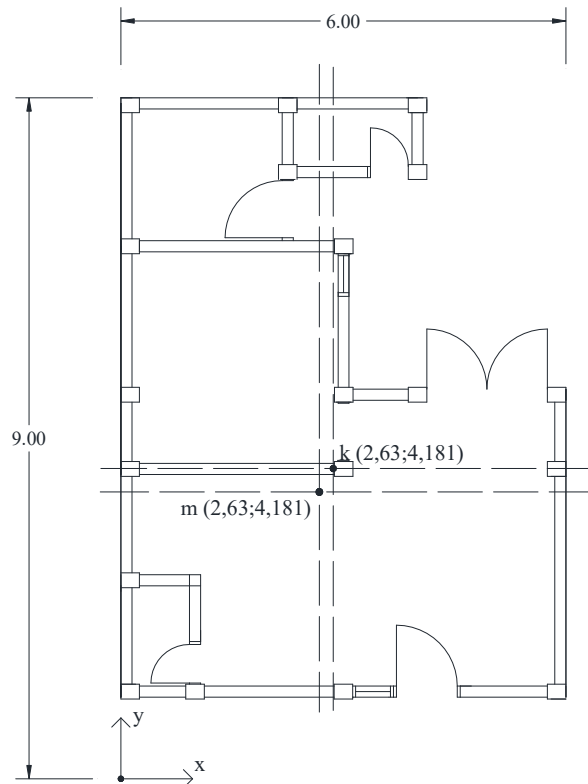
Gambar 4.3 Penomoran dinding denah tipe 45 extension.

Tabel 4.4 Pusat kekakuan dinding denah tipe 45 *extension*.

No	A	x	y	A.x	A.y
1	1,2	0,075	5	0,09	6
2	0,58875	2,1125	9,075	1,243734	5,342906
3	0,13875	2,25	8,5375	0,312188	1,184578
4	0,15	3,325	8,225	0,49875	1,23375
5	0,13875	4	8,5	0,555	1,179375
6	0,43875	1,6125	7,15	0,707484	3,137063
7	0,21	3	5,775	0,63	1,21275
8	0,15	3,6125	5,15	0,541875	0,7725
9	0,43875	1,6125	4,15	0,707484	1,820813
10	0,13875	0,6125	2,65	0,084984	0,367688
11	0,1125	1	2,2	0,1125	0,2475
12	0,43875	1,6125	1,15	0,707484	0,504563
13	0,19125	5,2125	1,15	0,996891	0,219938
14	0,6225	5,925	3,15	3,688313	1,960875
15	0,6225	0,075	3,075	0,046688	1,914188
16	0,43875	1,6125	5,075	0,707484	2,226656
17	0,32625	4,7625	5,075	1,553766	1,655719
18	0,31125	1,1875	4,075	0,369609	1,268344
19	0,3	3	4	0,9	1,2
20	0,41625	1,5375	1,075	0,639984	0,447469
21	0,1725	4	2,575	0,69	0,444188
22	0,27	5	2,5	1,35	0,675
23	0,3225	3	1,075	0,9675	0,346688
24	0,32625	4,7625	0,075	1,553766	0,024469
25	0,7725	5,925	2,5	4,577063	1,93125
Σ	8,46375			24,23255	35,38702
				$\bar{x} =$	2,863098
				$\bar{y} =$	4,181009

Tabel 4.5 Eksentrisitas denah tipe 45 *extension*.

Pusat massa (m)	
$\bar{x} =$	2,676
$\bar{y} =$	3,865
Pusat Kekakuan dinding (m)	
$\bar{x} =$	2,863
$\bar{y} =$	4,181
Eksentrisitas (m)	
$e_x =$	0,187
$e_y =$	0,316
$e =$	0,367

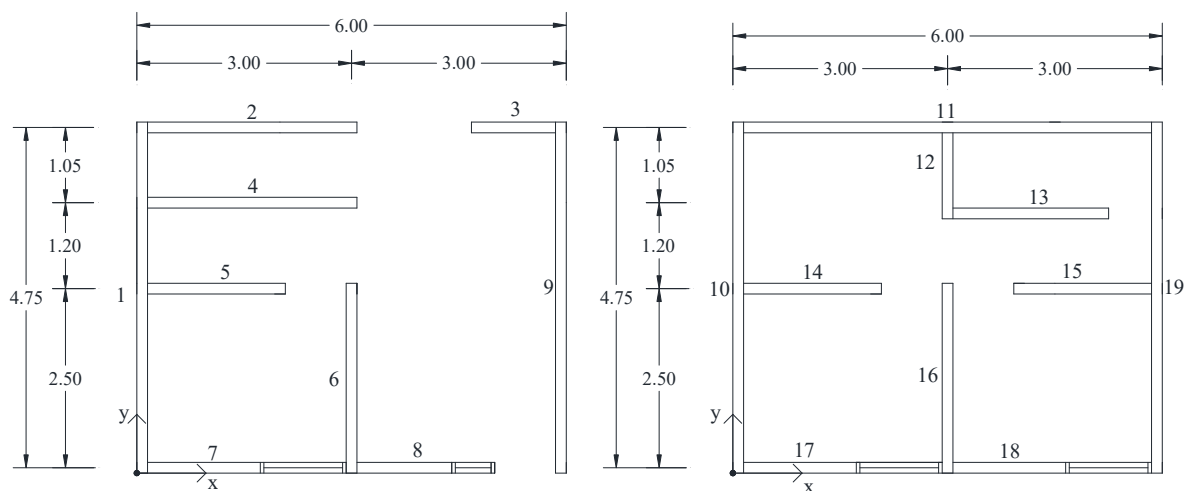


Gambar 4.4 Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) denah tipe 45 extension.

Berdasarkan SNI 1726 (2002) pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila nilai $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$. Berdasarkan *Tabel 4.5*, didapatkan nilai eksentrisitas sebesar $0,367 < 1,8$ maka nilai eksentrisitas kecil sehingga bentuk denah masih diizinkan. Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) pada *Gambar 4.4*.

2. Denah tipe 56

Rumah tipe 56 memiliki bentuk simetris. Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat massa pada *Tabel 4.6* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.5*.



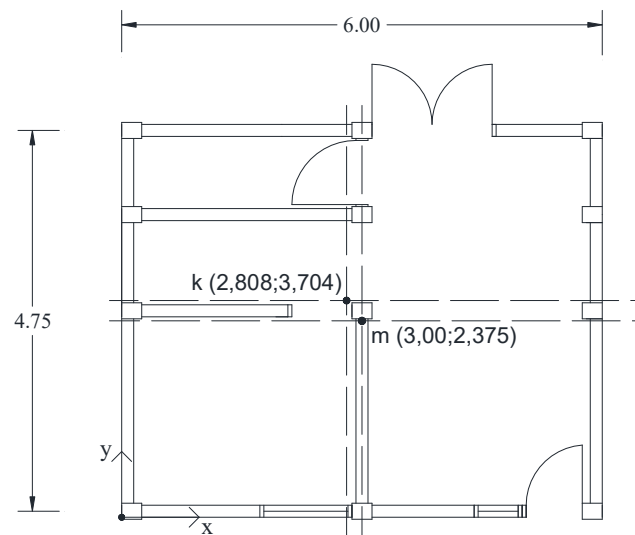
Gambar 4.5 Penomoran dinding denah tipe 56.

Tabel 4.6 Pusat kekakuan dinding denah tipe 56.

No	A	x	y	A.x	A.y
1	0,735	0,075	2,45	0,055125	1,80075
2	0,43875	1,6125	4,825	0,707484375	2,116969
3	0,17625	5,2625	4,825	0,927515625	0,850406
4	0,43875	1,6125	3,775	0,707484375	1,656281
5	0,28875	1,125	2,575	0,32484375	0,743531
6	0,3975	3	1,325	1,1925	0,526688
7	0,23625	0,9375	0,075	0,221484375	0,017719
8	0,19875	3,7375	0,075	0,742828125	0,014906
9	0,735	5,925	2,45	4,354875	1,80075
10	0,735	0,075	2,45	0,055125	1,80075
11	0,855	3	4,825	2,565	4,125375
12	0,18	3	4,15	0,54	0,747
13	0,32625	4,615	3,625	1,50564375	1,182656
14	0,28875	1,1125	2,575	0,321234375	0,743531
15	0,28875	4,8875	2,575	1,411265625	0,743531
16	0,3975	3	1,325	1,1925	0,526688
17	0,23625	0,9375	0,075	0,221484375	0,017719
18	0,19875	3,7375	0,075	0,742828125	0,014906
19	0,735	5,925	2,575	4,354875	1,892625
Σ	7,88625			22,14409688	21,32278
				$\bar{x} =$	2,807937
				$\bar{y} =$	2,703792

Tabel 4.7 Eksentrisitas denah tipe 56.

Pusat massa (m)	
$\bar{x} =$	3,000
$\bar{y} =$	2,375
Pusat kekakuan dinding (m)	
$\bar{x} =$	2,808
$\bar{y} =$	2,704
Eksentrisitas (m)	
$e_x =$	-0,192
$e_y =$	0,329
$e =$	0,381



Gambar 4.6 Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) denah tipe 56.

Berdasarkan SNI 1726 (2002) pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila nilai $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3 b$. Berdasarkan Tabel 4.7, didapatkan nilai eksentrisitas sebesar $0,381 < 1,425$ maka nilai eksentrisitas kecil sehingga bentuk denah masih diizinkan. Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) pada Gambar 4.6.

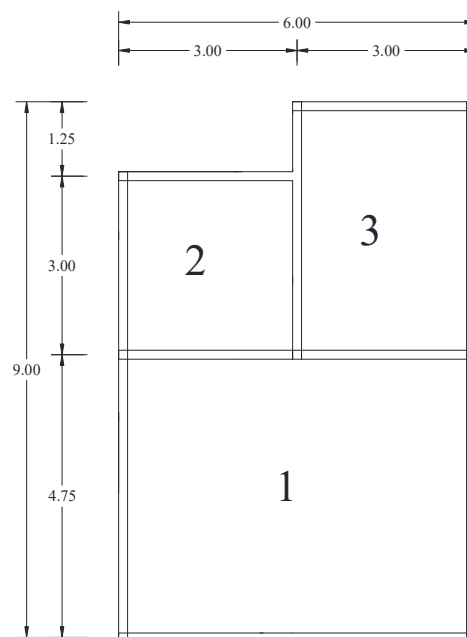
3. Denah tipe 56 extension.

Berdasarkan *Building Seismic Safety Council* (2009), untuk menentukan denah bangunan *irregular* harus mengikuti syarat pada persamaan 2-1 dan 2-2.

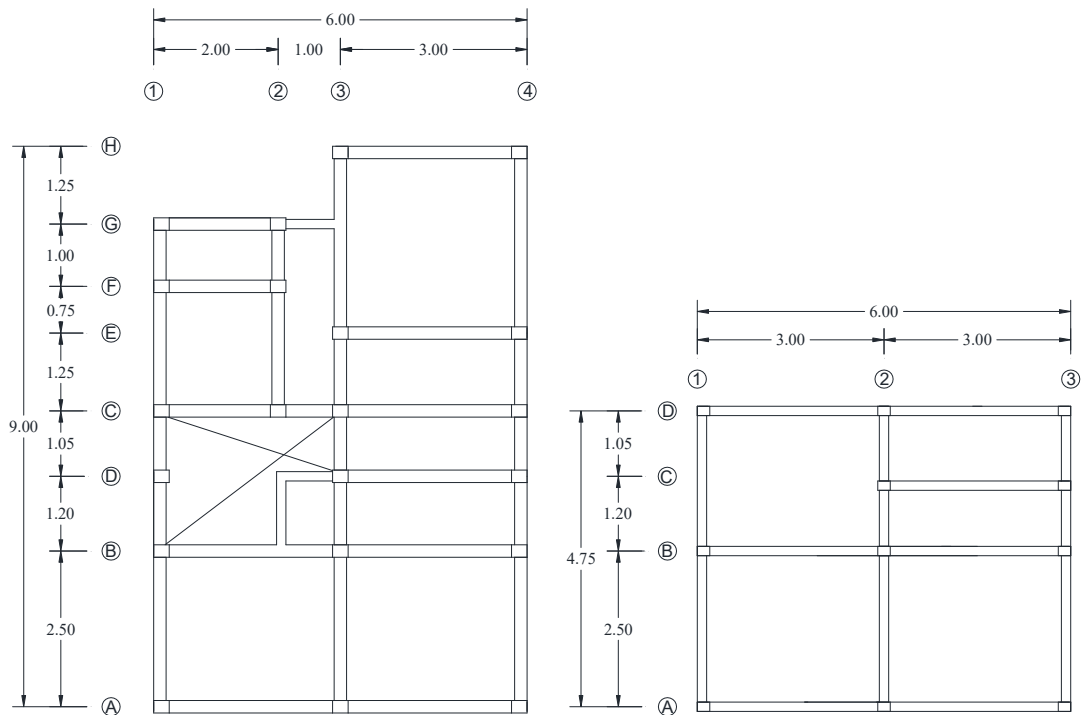
$$\frac{x_p}{x} = \frac{3}{6} = 0,5 > 0,15$$

$$\frac{y_p}{y} = \frac{1,25}{9} = 0,138 < 0,15$$

Dari perhitungan diatas, rumah tipe 56 *extension* memiliki bentuk *irregular*. Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi 3 daerah yaitu daerah 1,2 dan 3 seperti pada *Gambar 4.7*. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan denah balok dan kolom pada *Gambar 4.8*. Perhitungan beban untuk daerah 1,2 dan 3 pada *Tabel 4.8*, *Tabel 4.9*, *Tabel 4.10* dan *Tabel 4.11*.



Gambar 4.7 Pembagian daerah 1, 2 dan 3 denah tipe 56 *extension*.



Gambar 4.8 Denah balok lantai 1 dan 2 rumah tipe 56 extension.

Tabel 4.8 Beban daerah 1 denah tipe 56 extension.

Beban daerah 1			
1. Beton (2400 kg/m^3)			
Balok			
3,2835 x 2400	=	7880,4	kg
Kolom			
1,965 x 2400	=	4716	kg
Pelat			
28,5 x 0,12 x 2400	=	8208	kg
2. Dinding (250 kg/m^2)			
125,55 x 250	=	31387,5	kg
3. Keramik (24 kg/m^2)			
28,5 x 24	=	684	kg
4. Spesi (21 kg/m^2)			
28,5 x 21	=	598,5	kg
5. Plafond dan penggantung (18 kg/m^2)			
57 x 18	=	1026	kg
6. Atap (50 kg/m^2)			
49,44 x 50	=	2472,068542	kg
Jumlah		=	56972,46854 kg

Tabel 4.9 Beban daerah 2 denah tipe 56 extension.

Beban daerah 2			
1. Beton (2400 kg/m ³)			
Balok			
0,63 x 2400	=	1512	kg
Kolom			
0,3 x 2400	=	720	kg
Pelat			
9 x 0,12 x 2400	=	2592	kg
2. Dinding (250 kg/m ²)			
12,225 x 250	=	3056,25	kg
3. Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
9 x 18	=	162	kg
Jumlah	=	8042,25	kg

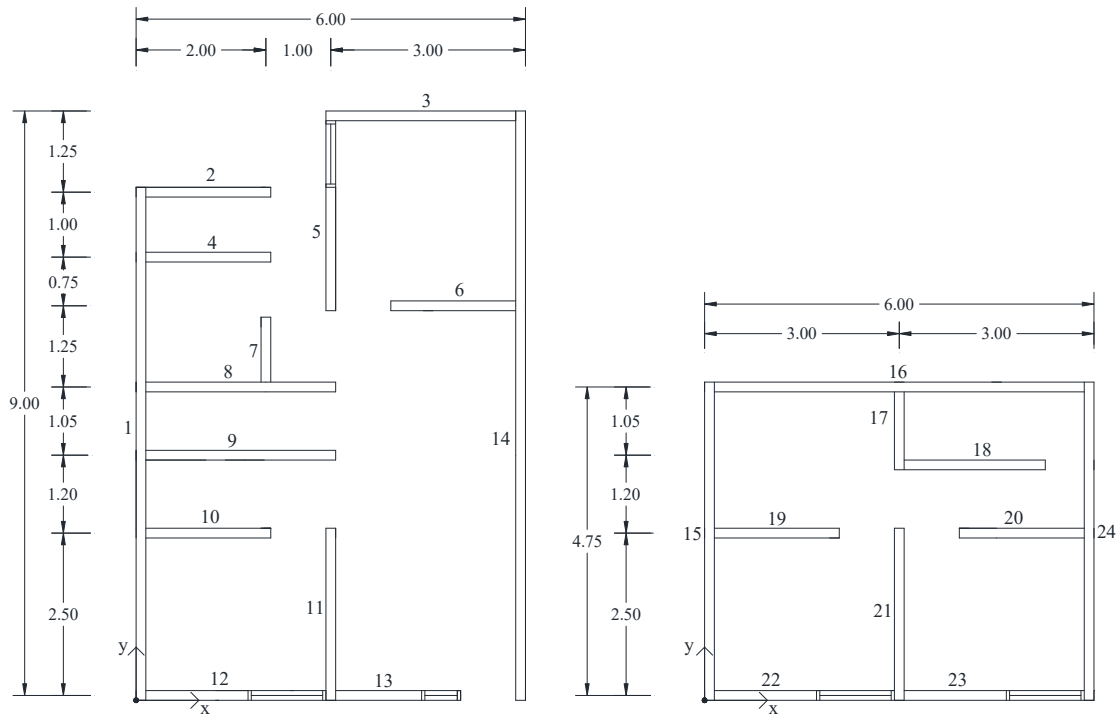
Tabel 4.10 Beban daerah 3 denah tipe 56 extension.

Beban daerah 3			
1. Beton (2400 kg/m ³)			
Balok			
0,864 x 2400	=	2073,6	kg
Kolom			
0,3 x 2400	=	720	kg
Pelat			
12,75 x 0,12 x 2400	=	3672	kg
2. Dinding (250 kg/m ²)			
17,1 x 250	=	4275	kg
3. Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
12,75 x 18	=	229,5	kg
Jumlah	=	10970,1	kg

Tabel 4.11 Pusat massa denah tipe 56 extension.

No	w (kg)	x (m)	y (m)	w.x	w.y
1	56972,47	3	2,375	170917,4056	135309,6
2	8042,25	1	6,25	8042,25	50264,06
3	10970,1	4,5	6,2875	49365,45	68974,5
Σ	75984,82			228325,1056	254548,2
				$\bar{x} =$	3,004878
				$\bar{y} =$	3,349987

Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat massa pada *Tabel 4.12* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.9*.



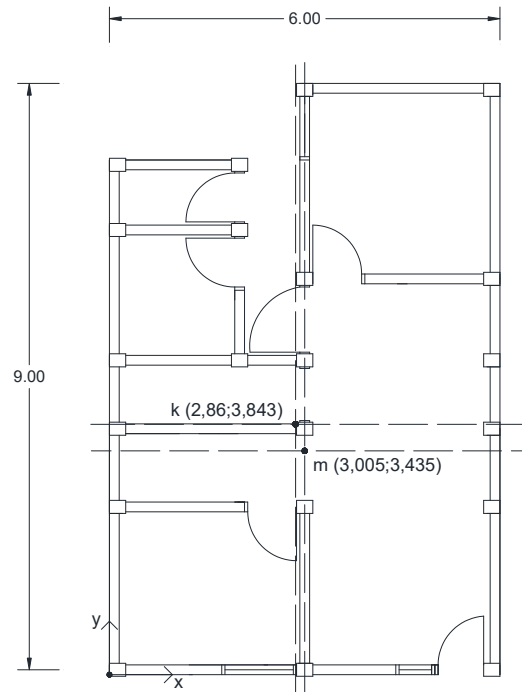
Gambar 4.9 Penomoran dinding denah tipe 45 extension.

Tabel 4.12 Pusat kekakuan dinding denah tipe 56 extension.

NO	A	x	y	A.x	A.y
1	1,185	0,075	3,95	0,088875	4,68075
2	0,28875	1,125	7,825	0,324844	2,25946875
3	0,43875	4,3875	9	1,925016	3,94875
4	0,28875	1,125	6,825	0,324844	1,97071875
5	0,285	3	6,95	0,855	1,98075
6	0,28875	4,8875	6,075	1,411266	1,75415625
7	0,15	2	5,4	0,3	0,81
8	0,43875	1,6125	4,825	0,707484	2,11696875
9	0,43875	1,6125	3,775	0,707484	1,65628125
10	0,28875	1,125	2,575	0,324844	0,74353125
11	0,3975	3	1,325	1,1925	0,5266875
12	0,23625	0,9375	0,075	0,221484	0,01771875
13	0,19875	3,7375	0,075	0,742828	0,01490625
14	1,36125	5,925	4,5375	8,065406	6,176671875
15	0,735	0,075	2,45	0,055125	1,80075
16	0,855	3	4,825	2,565	4,125375
17	0,18	3	4,15	0,54	0,747
18	0,32625	4,615	3,625	1,505644	1,18265625
19	0,28875	1,1125	2,575	0,321234	0,74353125
20	0,28875	4,8875	2,575	1,411266	0,74353125
21	0,3975	3	1,325	1,1925	0,5266875
22	0,23625	0,9375	0,075	0,221484	0,01771875
23	0,19875	3,7375	0,075	0,742828	0,01490625
24	0,735	5,925	2,575	4,354875	1,892625
Σ	10,52625			30,10183	40,45214063
				$\bar{x} =$	2,859691842
				$\bar{y} =$	3,842977378

Tabel 4.13 Eksentrisitas denah tipe 56 extension.

Pusat massa (m)	
x =	3,005
y =	3,435
Pusat kekakuan dinding (m)	
x =	2,860
y =	3,843
Eksentrisitas (m)	
$e_x =$	-0,145
$e_y =$	0,408
e =	0,433



Gambar 4.10 Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) denah tipe 56 extension.

Berdasarkan SNI 1726 (2002) pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila nilai $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$. Berdasarkan *Tabel 4.13*, didapatkan nilai eksentrisitas sebesar $0,433 < 1,8$ maka nilai eksentrisitas kecil sehingga bentuk denah masih diizinkan. Koordinat titik pusat massa (m) dan pusat kekakuan dinding (k) pada *Gambar 4.10*.

4.1.2 Bangunan Tidak Terlalu Panjang

Perbandingan panjang dengan lebar tidak melebihi 4 seperti pada *Gambar 2.2*. Denah bangunan berbentuk bujursangkar, segibanyak, atau lingkaran lebih baik daripada denah bangunan yang berbentuk memanjang dalam mengantisipasi terjadinya kerusakan gempa.

Rumah tipe 45 extension memiliki panjang 8 m dan lebar 6 m dengan perbandingan panjang-lebar yaitu $1,33 < 4$. Rumah tipe 56 memiliki panjang 6 m dan lebar 4,75 m dengan perbandingan panjang-lebar yaitu $1,26 < 4$. Rumah tipe 56 extension memiliki panjang 9 m dan lebar 6 m dengan perbandingan panjang-lebar yaitu $1,5 < 4$. Hal ini menunjukkan bahwa rumah tipe 45 extension, tipe 56, dan tipe 56 extension masih memenuhi persyaratan menurut Blondet (2005) dan Brzev (2008).

4.1.3 Distribusi Dinding Simetris dan Merata

Penempatan dinding sedapat mungkin simetris terhadap sumbu-sumbu denah bangunan mengantisipasi terjadinya kerusakan akibat gempa seperti pada *Gambar 2.3*. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya torsi yang besar apabila terjadi gempa.

Berdasarkan *Gambar 4.3*, rumah tipe 45 *extension* memiliki distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya akan tetapi berdasarkan *Tabel 4.5* memiliki eksentrisitas yang kecil yaitu $0,3675 < 1,8$. Berdasarkan *Gambar 4.6*, rumah tipe 56 memiliki distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya akan tetapi berdasarkan *Tabel 4.7* memiliki eksentrisitas yang kecil yaitu $0,381 < 1,425$. Berdasarkan *Gambar 4.9*, rumah tipe 56 *extension* memiliki distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya akan tetapi berdasarkan *Tabel 4.13* memiliki eksentrisitas yang kecil yaitu $0,433 < 1,8$. Hal ini menunjukkan bahwa rumah tipe 45 *extension*, tipe 56, dan tipe 56 *extension* masih diizinkan.

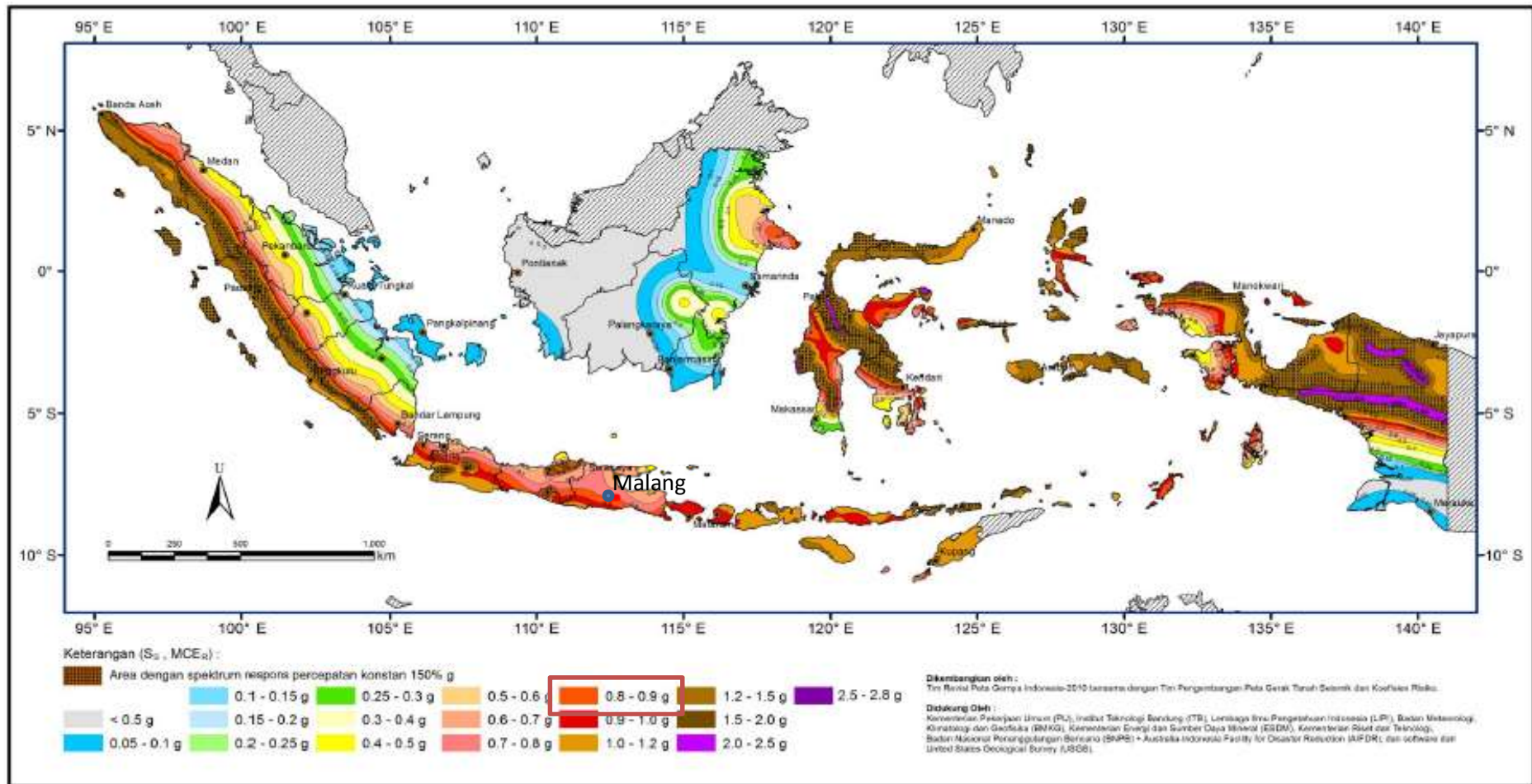
4.1.4 Dinding Ditempatkan Menerus antar Tingkat

Berdasarkan denah rumah *Gambar 3.4*, *Gambar 3.6*, dan *Gambar 3.7*, seluruh tipe rumah memiliki letak dinding antar tingkat tidak menerus. Sangat penting lokasi dinding pada lantai 2 tidak memiliki *offset* untuk rumah. Direkomendasikan merubah tata letak dinding sehingga menerus antar tingkat.

4.2 Perhitungan Beban Gempa

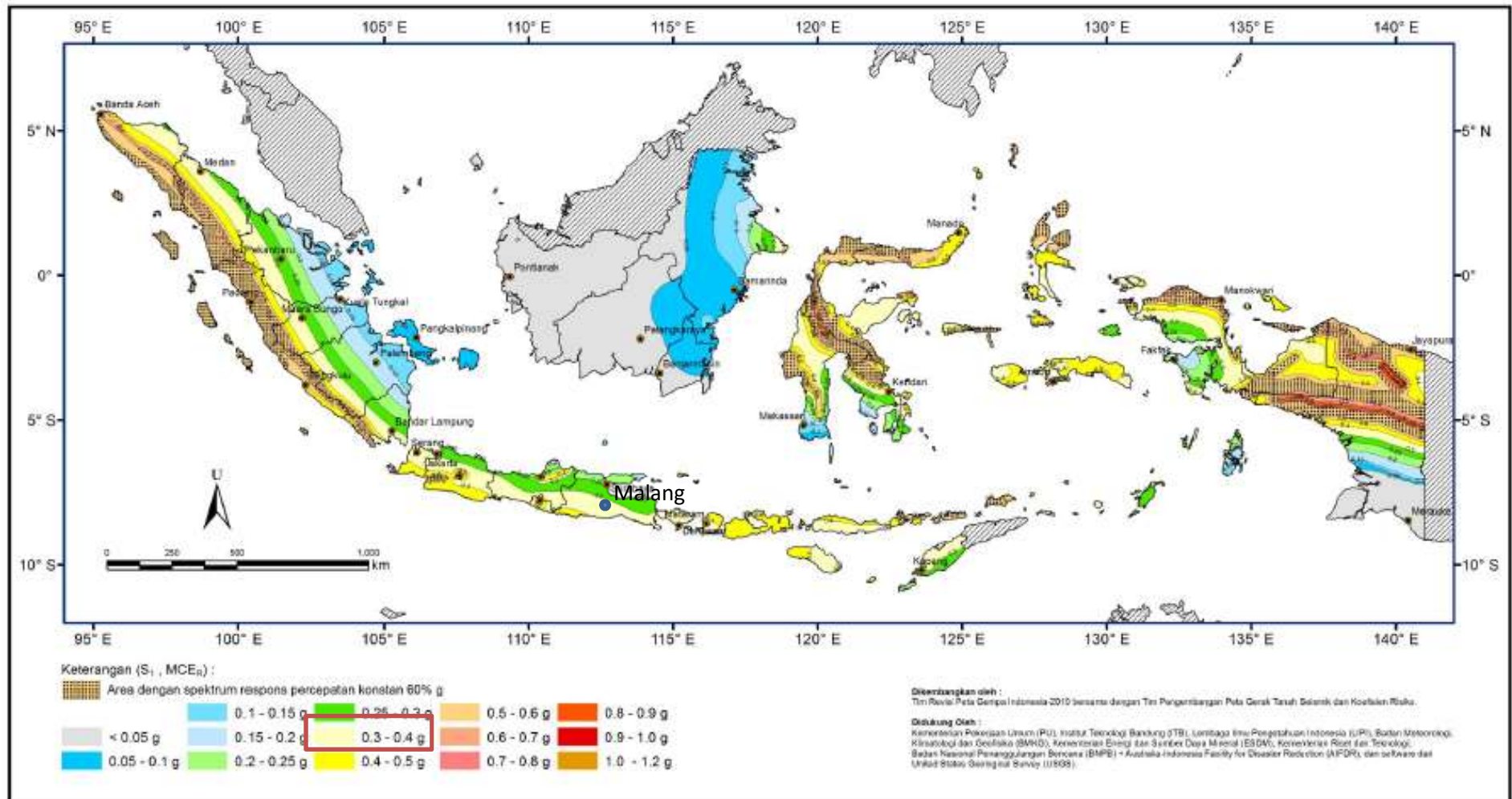
Perhitungan beban gempa menggunakan SNI 1726 (2012). Bangunan berfungsi sebagai rumah tinggal di Kota Malang sehingga didapatkan informasi sebagai berikut:

1. Kategori resiko = 2, untuk perumahan.
2. Faktor keutamaan (I_e) = 1, untuk rumah tinggal.
3. Klasifikasi situs = SD (tanah sedang).
4. Struktur ditentukan sebagai rangka beton bertulang *pemikul* momen biasa.
Berdasarkan tabel 9 SNI 1726-2012 didapat nilai $R = 3$.
5. $S_s = 0,8$ dan $S_1 = 0,3$ (Peta gempa ditunjukkan pada *gambar 4.11* dan *gambar 4.12*).
6. $F_a = 1,2$ dan $F_v = 1,8$.



Gambar 4.11 Nilai S_s di Kota Malang

Sumber : SNI 1729 (2012).



Gambar 4.12 Nilai S_1 di Kota Malang

Sumber : SNI 1729 (2012).

Berdasarkan data diatas, parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan dengan persamaan 2-4 dan persamaan 2-3:

$$S_{MS} = 1,2 \times 0,8 = 0,96$$

$$S_{M1} = 1,8 \times 0,3 = 0,54$$

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , ditentukan dengan persamaan 2-6 dan persamaan 2-7:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,96 = 0,64$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,54 = 0,36$$

Berdasarkan SNI 1726 (2012), sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda struktur, T ,izinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a . Dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ dan $h_n = 6$ m . Maka diperoleh nilai T_a :

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 6^{0,9} = 0,2337 \text{ detik}$$

Koefisien respons seismik, C_s , ditentukan dengan persamaan 2-11:

$$C_s = \frac{0,64}{\left(\frac{3}{1}\right)} = 0,2133$$

Nilai C_s tidak perlu melebihi persamaan 2-12 berikut ini:

$$C_s = \frac{0,36}{0,2337 \left(\frac{3}{1}\right)} = 0,5134$$

Dan nilai C_s harus tidak kurang dari persamaan 2-13 berikut ini:

$$C_s = 0,044 \times 0,36 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0158 > 0,01$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, $C_s = 0,2133 < 0,5134$ dan $C_s = 0,2133 > 0,0158$, maka ditentukan nilai $C_s = 0,2133$.

4.3 Wall Density Index

Kerapatan dinding adalah indikator kunci keamanan untuk ketahanan bangunan terhadap *seismic* dan gaya gravitasi. Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, *d*.

4.3.1 Tipe 45 Extension

4.3.1.1 Lantai 1

Berdasarkan denah rumah tipe 45 *extension* pada *Gambar 3.4* dan *Gambar 3.5*, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, *d*. A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 4 \times 6 + 2 \times 3,125 + 2 \times 2,25 + 1 \times 1,75 = 36,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 5 - (3 \times 1) = 27 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 36,5 + 27 = 63,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 + 1 + 3 \times 3 + 4 + 1,75 - 0,6 - 1,7 - 1,45) \times 0,15 = 2,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (4 + 1,5 + 2 + 1 + 1 + 8 - 0,6 - 0,6) \times 0,15 = 2,445 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, *d*, dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$\text{Arah x, } d_x = \frac{2,7}{36,5} = 0,074$$

$$\text{Arah y, } d_y = \frac{2,445}{36,5} = 0,067$$

$$\Sigma d = 0,071 + 0,067 = 0,141$$

Berdasarkan *Tabel 2.3*, nilai *d* untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai *d* terkecil ada pada arah y dengan nilai $6,7\% > 4,5\%$. Hal ini menunjukkan nilai *d* untuk lantai 1 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli, dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok, pelat dan beban

mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Perhitungan berat per satuan luas pada *Tabel 4.14* didapatkan nilai $W_T = 74837,269 \text{ Kg}$.

Beban hidup pada atap diambil yang terbesar dari beban pekerja dan peralatannya sebesar 100 kg atau beban air hujan dengan persamaan berikut dengan nilai kemiringan atap (α) adalah 35° .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (35) = 12 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.14 Berat total untuk rumah tipe 45 extension.

Beban Mati			
1	Beton (2400 kg/m^3)		
a.	Portal		
	Balok		
	4,245 x 2400	= 10188	Kg
	Kolom		
	2,925 x 2400	= 7020	Kg
	Pelat		
	43 x 0,12 x 2400	= 12384	Kg
2	Dinding (250 kg/m^2)		
	139,05 x 250	= 34762,5	Kg
3	Keramik (24 kg/m^2)		
	24 x 27	= 648	Kg
4	Spesi (21 kg/m^2)		
	21 x 27	= 567	Kg
5	Plafond dan penggantung (18 kg/m^2)		
	18 x 63,5	= 1143	Kg
6	Atap (50 kg/m^2)		
	43,948 x 50	= 2197,3943	Kg
Beban Hidup			
1	Lantai (200 kg/m^2)		
	27 x 200	= 5400	Kg
2	Atap ($W_{ah} = 12 \text{ kg/m}^2$)		
	43,948 x 12	= 527,37462	Kg
Total Berat per luas lantai bangunan			
	D + L	= 74837,269	Kg

Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-12:

$$W_T = 74837,269 \text{ Kg}$$

Sehingga, nilai V_U adalah:

$$V_U = 0,2133 \times 74837,269 = 15965,284 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap arah pada kedua arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.5* yaitu 3 Kg/cm^2 . Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

$$\sigma_U = \frac{74837,269}{5,145} = 14545,630 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 14545,630) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 19363,689 < 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v , kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah x, } V_R = 19363,689 \times 2,7 = 52281,961 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah y, } V_R = 19363,689 \times 2,445 = 47344,220 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{52281,961}{15965,284} = 3,275$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$3,275 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{47344,220}{15965,284} = 2,965$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,965 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x maupun arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari *Tabel 2.7* sebesar 15 Kg/m^2 . Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_U) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_U = \frac{74837,269}{5,145} = 14545,630 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{14545,630} \geq 2,33$$

$$7,837 > 2,33$$

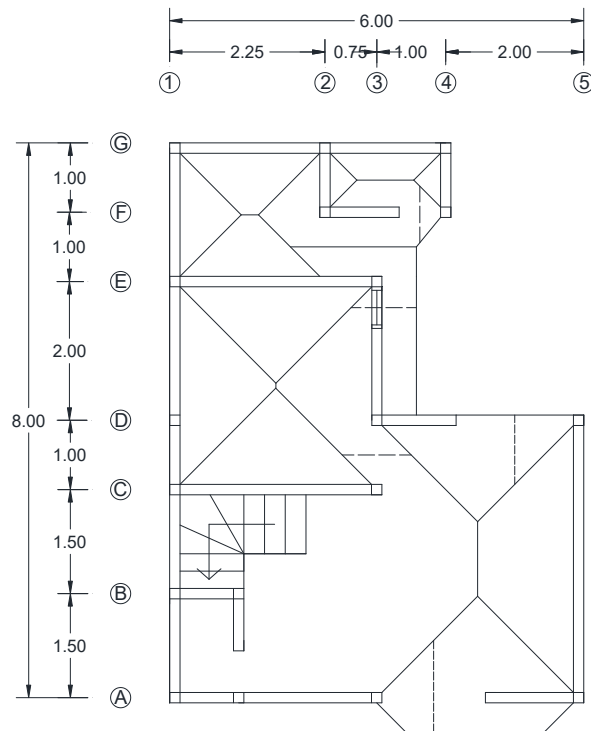
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $7,837 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

3. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.13 Tributary area denah tipe 45 extension.

Beban gravitasi (P_U) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan Gambar 4.13 yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-32.

- Dinding 4-5-A

$$P_U = 2,5627 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400$$

$$+ 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 = 2276,048 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 1,425 \times 0,15 = 24367,5 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{24367,5}{2276,048} = 10,706$$

$$10,706 > 2,33$$

- Dinding 3-4-D

$$P_U = 1,8433 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400$$

$$+ 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 3 \times 2,4$$

$$+3,151 \times 250 + 2400 \times 3 \times 0,2 \times 0,15 = 4694,312 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 1 \times 0,15 = 17100 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{17100}{4694,312} = 3,643$$

$$3,643 > 2,33$$

- Dinding 1-3-C

$$P_U = 2,935 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400$$

$$+2 \times 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,4 \times 3 \times 250 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2$$

$$= 5440,06 \text{ Kg}$$

$$P_R = 133000 \times 3 \times 0,15 = 59850 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{59850}{4497,185} = 13,308$$

$$13,308 > 2,33$$

- Dinding 5-A-D

$$P_U = 3,9 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 4 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400$$

$$+2 \times 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 18,849 \times (50 + 12) + 5 \times 3 \times 250$$

$$+4 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 = 8363,538 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 4 \times 0,15 = 79800 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{79800}{8363,538} = 9,541$$

$$6,377 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu 3,643 > 2,33 sehingga memenuhi kebutuhan.

4.3.1.2 Lantai 2

Berdasarkan denah rumah tipe 45 *extension* pada *Gambar 3.4* dan *Gambar 4.5*, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d . A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 4 \times 6 + 2 \times 3,125 + 2 \times 2,25 + 1 \times 1,75 = 36,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 5 - (3 \times 1) = 27 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 36,5 + 27 = 63,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 + 2 + 3 + 6 - 0,6 - 0,6 - 0,6) \times 0,15 = 2,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (4 + 2 + 2 + 1 + 5) \times 0,15 = 2,1 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, d , dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$d_x = \frac{2,28}{27} = 0,084$$

$$d_y = \frac{2,1}{27} = 0,0778$$

$$\sum d = 0,084 + 0,0778 = 0,162$$

Berdasarkan *tabel 2.3*, nilai d untuk Kota Malang dengan $\text{PGA} \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai d terkecil ada pada arah y dengan nilai 7,88% > 4,5%. Hal ini menunjukkan nilai d untuk lantai 2 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Berdasarkan *Tabel 4.14* didapatkan nilai $W_T = 74837,269 \text{ Kg}$. Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-12:

$$V_U = 0,2133 \times 74837,269 = 15965,284 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap dia arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.6* yaitu 3 Kg/cm². Pada σ_U , nilai berat

yang diambil yaitu berat yang terjadi pada lantai 2 akibat gaya gravitasi didapat dari *Tabel*

4.15. Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

Tabel 4.15 Berat pada lantai 2 untuk rumah tipe 45 extension.

Beban Mati			
1	Beton (2400 kg/m ³)		
a.	Portal		
	Balok		
	1,02 x 2400	= 2448	Kg
	Kolom		
	0,675 x 2400	= 1620	Kg
2	Dinding (250 kg/m ²)		
	43,8 x 250	= 10950	Kg
3	Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)		
	18 x 27	= 486	Kg
4	Atap (50 kg/m ²)		
	43,948 x 50	= 2197,3943	Kg
Beban Hidup			
1	Atap ($W_{ah} = 12 \text{ kg/m}^2$)		
	43,948 x 12	= 527,37462	Kg
Total Berat per luas lantai bangunan			
	D + L	= 18228,769	Kg

$$\sigma_U = \frac{18228,769}{4,38} = 4161,819 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 4161,819) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16248,546 < 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v , kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah x, } V_R = 16248,546 \times 2,28 = 37046,684 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah y, } V_R = 16248,546 \times 2,1 = 34121,946 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{37046,684}{15965,284} = 2,320$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,320 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{34121,946}{15965,284} = 2,137$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,137 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x maupun arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari Tabel 2.7 sebesar 15 Kg/m². Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_U) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_U = \frac{18228,769}{4,38} = 4161,819 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{4161,819} \geq 2,33$$

$$27,392 > 2,33$$

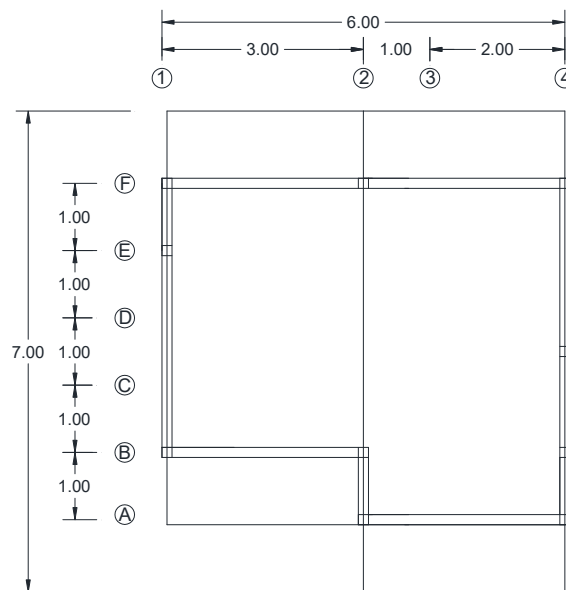
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $27,392 \geq 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

3. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.14 Denah atap pelana rumah tipe 45 extension

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan Gambar 4.14 yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-31.

- Dinding 1-B-F

$$P_U = (50 + 12) \times 15,189 + 250 \times 1,5 \times 4 + 2400 \times 4 \times 0,2 \times 0,15$$

$$= 2729,718 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 4 \times 0,15 = 68400 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{68400}{2729,718} = 25,058$$

$$25,058 > 2,33$$

- Dinding 2-4-A

$$P_U = (50 + 12) \times 3,66 + 250 \times 1,5 \times 2,4 + 250 \times 3,15$$

$$+ 2400 \times 2,4 \times 0,2 \times 0,15 = 2087,453 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 3 \times 0,15 = 41040 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{41040}{2087,453} = 19,660$$

$$19,660 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu 19,660 > 2,33 sehingga memenuhi kebutuhan.

4.3.2 Tipe 56

4.3.2.1 Lantai 1

Berdasarkan denah rumah tipe 56 pada *Gambar 3.6* dan *Gambar 3.7*, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d. A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 28,5 + 28,5 = 57 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 \times 2 + 3 + 3 - 1,6 - 0,85 - 1,2 - 1,45) \times 0,15 = 1,935 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (4,75 \times 2 + 2,5 + 1,05 - 0,85) \times 0,15 = 1,8 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, d, dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$\text{Arah x, } d_x = \frac{1,935}{28,5} = 0,0679$$

$$\text{Arah y, } d_y = \frac{1,8}{28,5} = 0,0632$$

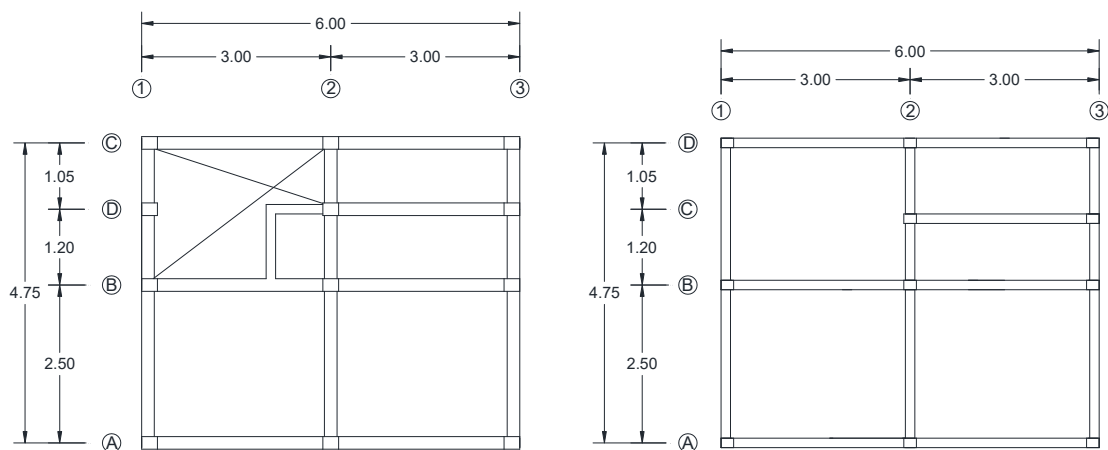
$$\Sigma d = 0,0679 + 0,0632 = 0,1311$$

Berdasarkan *tabel 2.3*, nilai d untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai d terkecil ada pada arah y dengan nilai $6,42\% > 4,5\%$. Hal ini menunjukkan nilai d untuk lantai 1 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli, dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok, pelat dan beban mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan *Gambar 4.15*. Perhitungan berat per satuan luas pada *Tabel 4.16* didapatkan nilai $W_T = 63048,265$ Kg.



Gambar 4.15 Denah balok lantai 1 dan 2 rumah tipe 56.

Beban hidup pada atap diambil yang terbesar dari beban pekerja dan peralatannya sebesar 100 kg atau beban air hujan dengan persamaan berikut dengan nilai kemiringan atap (α) adalah 35° .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (35) = 12 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.16 Berat total untuk rumah tipe 56.

Beban Mati			
1	Beton (2400 kg/m ³)		
a.	Portal		
	Balok		
	3,2835 x 2400	=	7880,4 Kg
	Kolom		
	1,89 x 2400	=	4536 Kg
	Pelat		
	28,5 x 0,12 x 2400	=	8208 Kg
2	Dinding (250 kg/m ²)		
	125,4 x 250	=	31350 Kg
3	Keramik (24 kg/m ²)		
	24 x 28,5	=	684 Kg
4	Spesi (21 kg/m ²)		
	21 x 28,5	=	598,5 Kg
5	Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)		
	18 x 57	=	1026 Kg
6	Atap (50 kg/m ²)		
	49,44 x 50	=	2472,0685 Kg
Beban Hidup			
1	Lantai (200 kg/m ²)		
	28,5 x 200	=	5700 Kg
2	Atap ($W_{ah} = 12$ kg/m ²)		
	49,44 x 12	=	593,29645 Kg
Total Berat per luas lantai bangunan			
	D + L	=	63048,265 Kg

Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-12:

$$W_T = 63048,265 \text{ Kg}$$

Sehingga, nilai V_u adalah:

$$V_U = 0,2133 \times 63048,265 = 13450,297 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap dia arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif

dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.6* yaitu 3 Kg/cm^2 . Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

$$\sigma_U = \frac{63048,265}{3,765} = 16880,392 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 16880,392) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 20064,118 < 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v , kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah x, } V_R = 20064,118 \times 1,935 = 38824,068 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah y, } V_R = 20064,118 \times 1,8 = 36115,412 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{38824,068}{13450,297} = 2,886$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,886 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{36115,412}{13450,297} = 2,685$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,685 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x maupun arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari *Tabel 2.7* sebesar 15 Kg/m^2 . Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_u) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_u = \frac{63048,265}{3,765} = 16880,392 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_u} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{16880,392} \geq 2,33$$

$$6,753 > 2,33$$

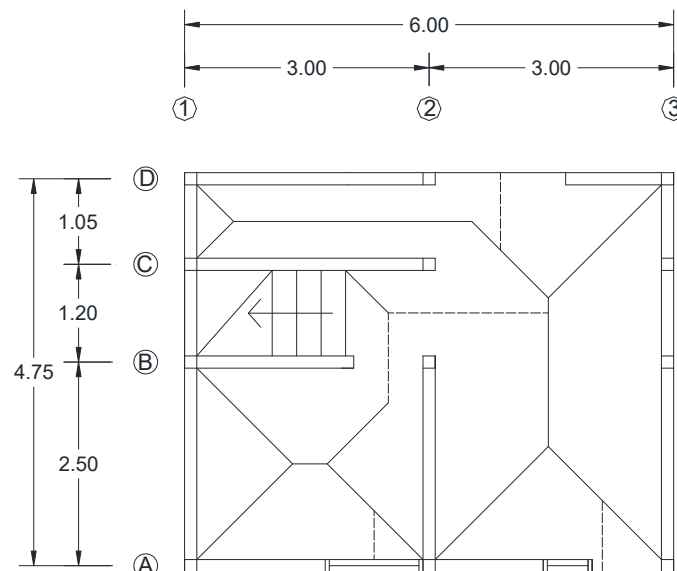
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_u} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $6,753 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

3. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.16 Tributary area denah tipe 56.

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan *Gambar 4.16* yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-32.

- Dinding 2-A-B

$$\begin{aligned}
 P_U &= 5,27 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 2,5 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\
 &\quad + 2 \times 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,5 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,5 \times 250 \times 3 \\
 &= 5750,770 Kg
 \end{aligned}$$

$$P_R = 133000 \times 2,5 \times 0,15 = 49875 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{49875}{5750,770} = 8,673$$

$$8,673 > 2,33$$

- Dinding 1-2-A

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1,7 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\
 &\quad + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 250 \times 1,8 \\
 &\quad + 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 3,151 = 4165,353 Kg
 \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 1,8 \times 0,15 = 35910 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35910}{4165,353} = 8,621$$

$$8,621 > 2,33$$

- Dinding 2-3-D

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1,7252 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\
 &\quad + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 250 \times 3 \\
 &\quad + 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 3,151 = 5079,239 Kg
 \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 1,325 \times 0,15 = 22657,5 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{22657,5}{5079,239} = 4,461$$

$$4,461 > 2,33$$

- Dinding 2-3-A

$$P_U = 1,711 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400$$

$$+ 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 250 \times 1,8$$

$$+ 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 4,151 = 4171,414 \text{ Kg}$$

$$P_R = 114000 \times 1,45 \times 0,15 = 24795 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{24795}{24171,414} = 5,944$$

$$5,944 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu $4,461 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

4.3.2.2 Lantai 2

Berdasarkan denah rumah tipe 56 pada *Gambar 3.6* dan *Gambar 3.7*, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d. A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 28,5 + 28 = 57 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 + 6 + 3 + 6 - 0,6 - 0,85 - 0,85 - 1,2 - 1,2) \times 0,15 = 2,445 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (4,75 + 2,5 + 1,005 + 4,75) \times 0,15 = 1,9575 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, d, dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$\text{Arah x, } d_x = \frac{2,445}{28,5} = 0,0858$$

$$\text{Arah } y, d_y = \frac{1,9575}{28,5} = 0,0687$$

$$\Sigma d = 0,0868 + 0,0687 = 0,1545$$

Berdasarkan *tabel 2.3*, nilai d untuk Kota Malang dengan $\text{PGA} \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai d terkecil ada pada arah y dengan nilai $6,87\% > 4,5\%$. Hal ini menunjukkan nilai d untuk lantai 2 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Berdasarkan *Tabel 4.16* didapatkan nilai $W_T = 63048,265 \text{ Kg}$. Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-12:

$$V_U = 0,2133 \times 63048,265 = 13450,297 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap dia arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.6* yaitu 3 Kg/cm^2 . Pada σ_U , nilai berat yang diambil yaitu berat yang terjadi pada lantai 2 akibat gaya gravitasi didapat dari *Tabel 4.17*. Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

Tabel 4.17 Berat pada lantai 2 untuk rumah tipe 56.

Beban Mati				
1	Beton (2400 kg/m ³)			
a.	Portal			
	Balok			
		1,1025 x 2400	=	2646 Kg
	Kolom			
		0,495 x 2400	=	1188 Kg
2	Dinding (250 kg/m ²)			
		44,025 x 250	=	11006,25 Kg
5	Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
		18 x 28,5	=	513 Kg
6	Atap (50 kg/m ²)			
		49,44 x 50	=	2472,0685 Kg
Beban Hidup				
2	Atap (W _{ah} = 12 kg/m ²)			
		49,44 x 12	=	593,29645 Kg
Total Berat per luas lantai bangunan				
		D + L	=	18418,615 Kg

$$\sigma_U = \frac{18418,615}{4,4025} = 4183,672 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 4183,672) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16255,102 < 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v, kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah x, } V_R = 16255,102 \times 2,445 = 39743,723 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah y, } V_R = 16255,102 \times 1,9575 = 31819,361 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai (F_RV_R) lebih besar dari gaya geser seismik (F_CV_U).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{39743,723}{13450,297} = 2,955$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,955 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{31819,361}{13450,297} = 2,366$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,366 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x maupun arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari *Tabel 2.7* sebesar 15 Kg/m^2 . Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_U) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_U = \frac{18418,615}{4,4025} = 4183,672 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{4183,615} \geq 2,33$$

$$27,249 > 2,33$$

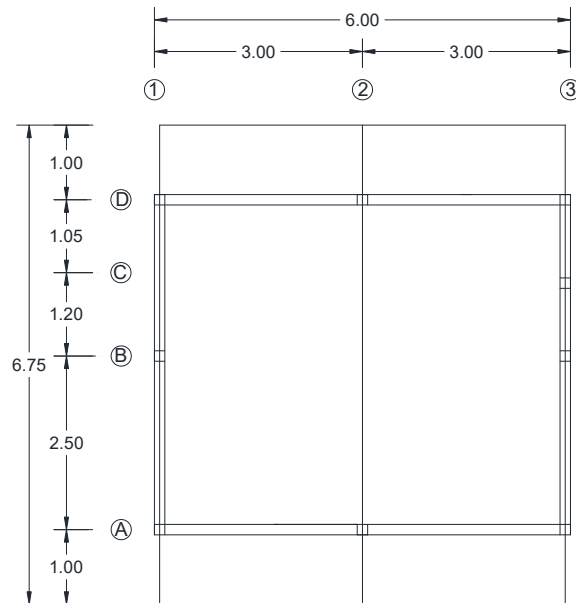
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $27,249 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

3. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.17 Denah atap pelana rumah tipe 56.

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan Gambar 4.17 yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-32.

- Dinding 1-A-D

$$\begin{aligned} P_U &= (50 + 12) \times 17,935 + 250 \times 1,5 \times 4,75 + 2400 + 4,75 + 0,2 + 0,15 \\ &= 3235,158 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 4,75 \times 0,15 = 81225 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{81225}{3235,158} = 25,107$$

$$25,107 > 2,33$$

- Dinding 1-2-A

$$\begin{aligned} P_U &= (50 + 12) \times 3,66 + 250 \times 1,5 \times 1,8 + 250 \times 3,15 + 2400 + 1,8 + 0,2 \\ &\quad + 0,15 = 1905,653 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 1,8 \times 0,15 = 30780 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{30780}{1905,653} = 16,152$$

$$16,152 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu 16,152 > 2,33 sehingga memenuhi kebutuhan.

4.3.3 Tipe 56 Extension

4.3.3.1 Lantai 1

Berdasarkan denah rumah tipe 56 extension pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d. A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 6 \times 9 - ((1,25 \times 3) + 0,5 \times 1,1 + (1 \times 3)) = 46,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 46,7 + 28,5 = 75,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 + 3 \times 5 + 2 \times 2 - 0,85 - 0,85 - 1,2 - 1,45) \times 0,15 = 3,0975 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (9 + 3 + 2,5 + 2 + 7,75 - 1,25 - 0,85) \times 0,15 = 3,35625 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, d, dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$\text{Arah x, } d_x = \frac{3,0975}{46,7} = 0,0663$$

$$\text{Arah y, } d_y = \frac{3,35625}{46,7} = 0,0719$$

$$\Sigma d = 0,0663 + 0,0719 = 0,1382$$

Berdasarkan tabel 2.3, nilai d untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai d terkecil ada pada arah y dengan nilai 6,63% > 4,5%. Hal ini menunjukkan nilai d untuk lantai 1 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok, pelat dan beban mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Perhitungan berat persatuan luas pada *Tabel 4.18* didapatkan nilai $W_T = 81656,74 \text{ Kg}$.

Beban hidup pada atap diambil yang terbesar dari beban pekerja dan peralatannya sebesar 100 kg atau beban air hujan dengan persamaan berikut dengan nilai kemiringan atap (α) adalah 35° .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (35) = 12 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.18 Berat total untuk rumah tipe 56 extension.

Beban Mati				
1	Beton (2400 kg/m ³)			
	a. Portal			
	Balok			
		4,7835 x 2400	=	11480,4 Kg
	Kolom			
		2,565 x 2400	=	6156 Kg
	Pelat			
		50,25 x 0,12 x 2400	=	14472 Kg
2	Dinding (250 kg/m ²)			
		152,6875 x 250	=	38146,875 Kg
3	Keramik (24 kg/m ²)			
		24 x 28,5	=	684 Kg
4	Spesi (21 kg/m ²)			
		21 x 28,5	=	598,5 Kg
5	Plafond dan penggantung (18 kg/m ²)			
		18 x 75,2	=	1353,6 Kg
6	Atap (50 kg/m ²)			
		49,44x 50	=	2472,0685 Kg
Beban Hidup				
1	Lantai (200 kg/m ²)			
		28,5 x 200	=	5700 Kg
2	Atap ($W_{ah} = 12 \text{ kg/m}^2$)			
		49,44 x 12	=	593,29645 Kg
Total Berat per luas lantai bangunan				
		D + L	=	81656,74 Kg

Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-12:

$$W_T = 81656,74 \text{ Kg}$$

Sehingga, nilai V_u adalah:

$$V_U = 0,2133 \times 81656,74 = 17420,105 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap dia arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif

dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.6* yaitu 3 Kg/cm^2 . Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

$$\sigma_U = \frac{81656,74}{6,45375} = 12652,604 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 12652,604) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 18795,781 > 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v , kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah x, } V_R = 18795,781 \times 3,0975 = 58219,932 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah y, } V_R = 18795,781 \times 3,35625 = 63083,340 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{58219,932}{17420,105} = 3,342$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$3,342 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{63083,340}{17420,105} = 3,621$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$3,621 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x maupun arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari *Tabel 2.7* sebesar 15 Kg/m^2 . Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_u) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_U = \frac{81656,74}{6,45375} = 12652,604 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{12652,604} \geq 2,33$$

$$9,010 > 2,33$$

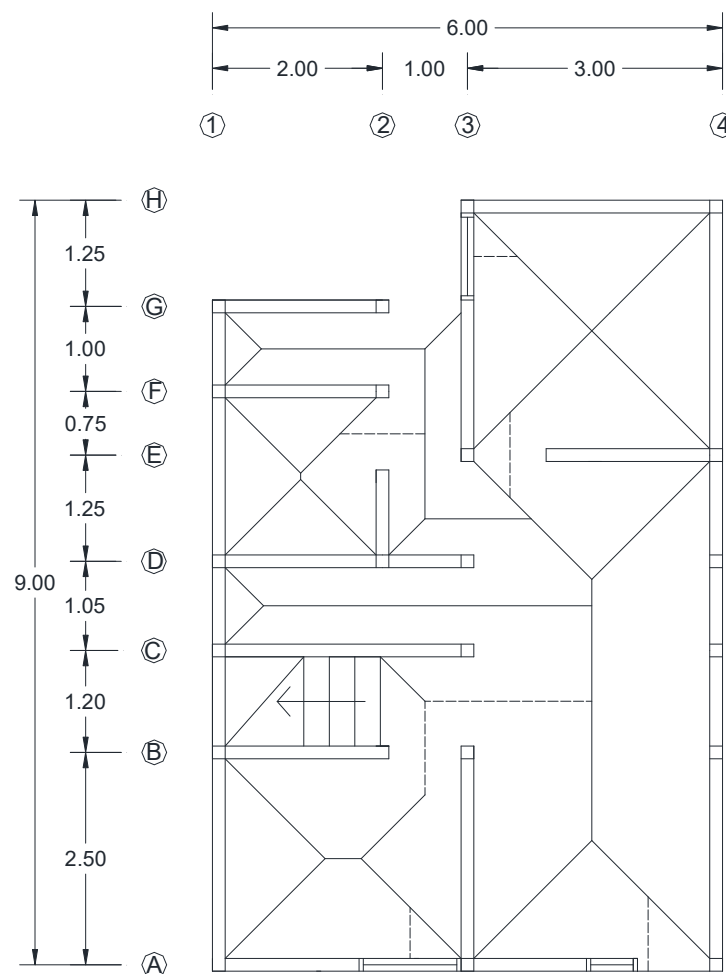
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $9,010 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

4. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.18 Tributary area denah tipe 56 extension.

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan Gambar 4.18 yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-32.

- Dinding 3-A-B

$$\begin{aligned}
 P_U &= 5,27 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 2,5 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\
 &\quad + 2 \times 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,5 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,5 \times 250 \times 3 \\
 &= 5750,770Kg
 \end{aligned}$$

$$P_R = 133000 \times 2,5 \times 0,15 = 49875 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{49875}{5750,770} = 8,673$$

$$8,673 > 2,33$$

- Dinding 1-A-B

$$\begin{aligned} P_U &= 1,38 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 2,5 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\ &\quad + 2 \times 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 2,5 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 9,156 \times (50 \\ &\quad + 12) + 250 \times 3 \times 2,5 = 4175,052 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 2,5 \times 0,15 = 49875 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{49875}{4175,052} = 11,946$$

$$11,946 > 2,33$$

- Dinding 1-3-A

$$\begin{aligned} P_U &= 1,7 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\ &\quad + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 250 \times 1,8 \\ &\quad + 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 3,151 = 4165,353 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 1,8 \times 0,15 = 35910 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35910}{4165,353} = 8,621$$

$$8,621 > 2,33$$

- Dinding 3-4-A

$$\begin{aligned} P_U &= 1,711 \times (2400 \times 0,12 + 21 + 24 + 18 + 200) + 3 \times 0,2 \times 0,3 \times 2400 \\ &\quad + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 2400 \times 0,15 \times 0,2 + 3 \times 250 \times 1,8 \\ &\quad + 3,66 \times (50 + 12) + 250 \times 4,151 = 4171,414 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_R = 114000 \times 1,45 \times 0,15 = 24795 \text{ Kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{24795}{24171,414} = 5,944$$

$$5,944 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu 5,944 > 2,33 sehingga memenuhi kebutuhan.

4.3.3.2 Lantai 2

Berdasarkan denah rumah tipe 56 *extension* pada *Gambar 3.8* dan *Gambar 3.9*, dapat hitung nilai dari luas pelat lantai bangunan (A_p) dan luas penampang dinding (A_w). Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding, d. A_p dan A_w didapat berdasarkan perhitungan berikut:

$$\text{Lantai 1, } A_p = 6 \times 9 - ((1,25 \times 3) + 0,5 \times 1,1 + (1 \times 3)) = 46,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Lantai 2, } A_p = 6 \times 4,75 = 28,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Total } A_p = 46,7 + 28,5 = 75,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (6 + 6 + 3 + 6 - 0,6 - 0,85 - 0,85 - 1,2 - 1,2) \times 0,15 = 2,445 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (4,75 + 2,5 + 1,2 + 4,75) \times 0,15 = 1,9575 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding, d, dapat dihitung dengan persamaan 2-3:

$$\text{Arah x, } d_x = \frac{2,445}{28,5} = 0,0868$$

$$\text{Arah y, } d_y = \frac{1,9575}{28,5} = 0,0687$$

$$\sum d = 0,0868 + 0,0687 = 0,1545$$

Berdasarkan *tabel 2.3*, nilai d untuk Kota Malang dengan $\text{PGA} \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 4,5 %. Nilai d terkecil ada pada arah y dengan nilai 6,87% > 4,5%. Hal ini menunjukkan nilai d untuk lantai 2 memenuhi kebutuhan.

Berdasarkan Meli dkk. (2011), untuk dapat mengetahui keamanan bangunan menggunakan kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi dan kontrol daya dukung dinding.

1. Kontrol Kapasitas Seismik menggunakan *wall density index*

Berdasarkan *tabel 4.18* didapatkan nilai $W_T = 81656,740$ Kg. Gaya seismik (V_U), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, didapat dengan persamaan 2-10:

$$V_U = 0,2133 \times 81656,740 = 17420,105 \text{ Kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai (V_R) dihitung untuk tiap dia arah orthogonal bangunan dengan mengalikan dengan kekuatan dinding geser (v) dan total luas efektif dinding (A_w). Nilai V_m didapat berdasarkan *Tabel 2.6* yaitu 3 Kg/cm^2 . Pada σ_U , nilai berat yang diambil yaitu berat yang terjadi pada lantai 2 akibat gaya gravitasi didapat dari *Tabel 4.19*. Nilai σ_U dan v didapat dari persamaan 2-21 dan persamaan 2-20:

Tabel 4.19 Berat pada lantai 2 untuk rumah tipe 56 *extension*.

Beban Mati			
1	Beton (2400 kg/m^3)		
a.	Portal		
	Balok		
	1,1025 x 2400	=	2646 Kg
	Kolom		
	0,495 x 2400	=	1188 Kg
2	Dinding (250 kg/m^2)		
	44,025 x 250	=	11006,25 Kg
5	Plafond dan penggantung (18 kg/m^2)		
	18 x 28,5	=	513 Kg
6	Atap (50 kg/m^2)		
	49,44 x 50	=	2472,0685 Kg
Beban Hidup			
2	Atap ($W_{ah} = 12 \text{ kg/m}^2$)		
	49,44 x 12	=	593,29645 Kg
Total Berat per luas lantai bangunan			
	D + L	=	18418,615 Kg

$$\sigma_U = \frac{18418,615}{4,4025} = 4183,672 \text{ Kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 4183,672) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16255,102 < 45000$$

Setelah mendapatkan nilai v , kemudian menghitung nilai V_R dengan persamaan 2-19:

$$\text{Arah } x, V_R = 16255,102 \times 2,445 = 39743,723 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah } y, V_R = 16255,102 \times 1,9575 = 31819,361 \text{ Kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ($F_R V_R$) lebih besar dari gaya geser seismik ($F_C V_U$).

- Arah x

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{39743,723}{17420,105} = 2,281$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$2,281 > 1,6$$

- Arah y

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{31819,361}{17420,105} = 1,827$$

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = 1,6$$

$$1,827 > 1,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index*, pada arah x dan arah y memenuhi kebutuhan.

2. Kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding (f_m') dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Nilai f_m' didapat dari Tabel 2.7 sebesar 15 Kg/m². Nilai σ_R didapat dari persamaan 2-27:

$$\sigma_R = 0,6(15 + 4) = 11,4 \text{ Kg/cm}^2 = 114000 \text{ Kg/m}^2$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama (σ_u) didapat dari persamaan 2-21:

$$\sigma_U = \frac{18418,615}{4,4025} = 4183,672 \text{ Kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_s = 2,33$$

$$\frac{114000}{4183,672} \geq 2,33$$

$$27,249 > 2,33$$

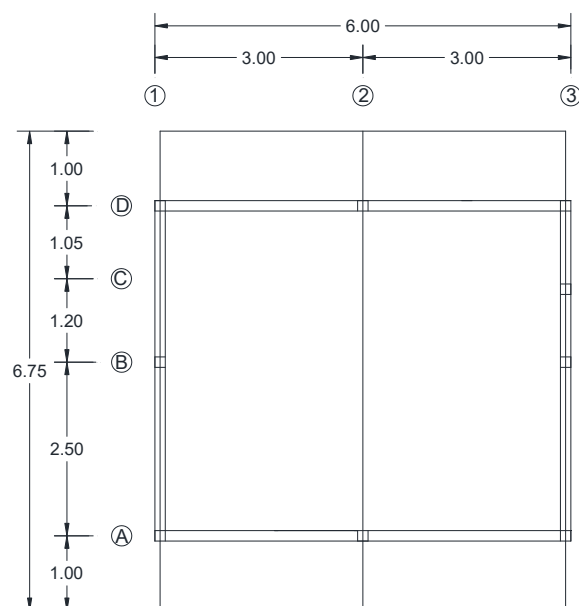
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol *wall density index* terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yaitu $27,249 > 2,33$ sehingga memenuhi kebutuhan.

3. Kontrol daya dukung dinding

Kontrol daya dukung dinding menggunakan persamaan 2-30. Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui nilai:

$$\sigma_R \text{ in} = 133000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_R \text{ ex} = 114000 \text{ Kg/m}^2$$



Gambar 4.19 Denah atap pelana rumah tipe 56 extension.

Beban gravitasi (P_u) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai berdasarkan Gambar 4.19 yang dihitung dengan persamaan 2-31. Kemampuan daya dukung (P_R) dihitung dengan persamaan 2-32.

- Dinding 1-A-D

$$P_U = (50 + 12) \times 17,935 + 250 \times 1,5 \times 4,75 + 2400 + 4,75 + 0,2 + 0,15$$

$$= 3235,158 Kg$$

$$P_R = 114000 \times 4,75 \times 0,15 = 81225 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{81225}{3235,158} = 25,107$$

$$25,107 > 2,33$$

- Dinding 1-2-A

$$P_U = (50 + 12) \times 3,66 + 250 \times 1,5 \times 1,8 + 250 \times 3,15 + 2400 + 1,8 + 0,2$$

$$+ 0,15 = 1905,653 Kg$$

$$P_R = 114000 \times 1,8 \times 0,15 = 30780 Kg$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{30780}{1905,653} = 16,152$$

$$16,152 > 2,33$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dimana nilai $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$ yang terkecil yaitu 16,152 > 2,33 sehingga memenuhi kebutuhan.

4.4 Pembahasan

Tabel 4.20 Hasil perhitungan kapasitas gempa menggunakan *wall density index*.

Parameter	Tipe			Referensi			Keterangan
	45 extension	56	56 extension	SNI (2012)	Blondet (2005)	Meli, dkk. (2011)	
Bentuk bangunan dan distribusi dinding e (m)	0,367	0,381	0,433	< 0,3 b			Bentuk bangunan dan distribusi dinding masih diizinkan
$\frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}}$	$\frac{8}{6} = 1,33$	$\frac{6}{4,75} = 1,26$	$\frac{9}{6} = 1,5$	$\frac{p}{l} \leq 4$			Bangunan tidak panjang
<i>Wall Density Index</i>	dx	7,40%	6,79%	6,63%	$d \geq 4,5\%$		Aman
	dy	6,70%	6,32%	6,87%			
Kontrol kapasitas seismik menggunakan <i>Wall Density Index</i>	$\frac{V_R x}{V_U}$	$\frac{37046,684}{15965,284} = 2,320$	$\frac{38824,068}{13450,297} = 2,886$	$\frac{39743,723}{17420,105} = 2,281$	$\frac{V_R}{V_U} \geq 1,6$		Aman
	$\frac{V_R y}{V_U}$	$\frac{34121,946}{15965,284} = 2,137$	$\frac{31819,361}{13450,297} = 2,366$	$\frac{31819,361}{17420,105} = 1,827$			
kontrol <i>wall density index</i> terhadap gaya gravitasi	$\frac{\sigma_R}{\sigma_U}$	$\frac{114000}{14545,630} = 7,837$	$\frac{114000}{16880,392} = 6,753$	$\frac{114000}{12652,604} = 9,010$	$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq 2,33$		Aman
Kontrol daya dukung tiap dinding	$\frac{P_R}{P_U}$	$\frac{17100}{4694,312} = 3,643$	$\frac{22657,5}{5079,239} = 4,461$	$\frac{24795}{4171,414} = 5,944$	$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,33$		Aman

Berdasarkan *Tabel 4.17* dapat diketahui bahwa rumah tinggal untuk tipe yaitu 45 *extension*, dan 56 *extension* memiliki bentuk bangunan *irregular* sedangkan tipe 56 memiliki bentuk bangunan simetris dan semua tipe memiliki distribusi dinding yang tidak simetris. Namun berdasarkan nilai eksentrisitas titik pusat massa terhadap kekakuan dinding untuk semua tipe bentuk bangunan dan distribusi dinding masih diizinkan. Untuk tipe 45 *extension* memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,3675 < 1,8$. Untuk tipe 56 memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,381 < 1,425$. Untuk tipe 56 *extension* memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,433 < 1,8$.

Rumah tipe 45 *extension* memiliki perbandingan panjang- lebar yaitu $1,33 < 4$. Rumah tipe 56 memiliki perbandingan panjang-lebar yaitu $1,26 < 4$. Rumah tipe 56 *extension* memiliki perbandingan panjang- lebar yaitu $1,5 < 4$. Hal ini menunjukkan bahwa rumah tipe 45 *extension*, tipe 56, dan tipe 56 *extension* masih memenuhi persyaratan menurut Blondet (2005) dan Brzev (2008).

Berdasarkan Meli, dkk. (2011) nilai *wall density index* untuk daerah Malang rumah 2 lantai harus lebih besar dari 4,5%. Pada bangunan tipe 45 *extension* memiliki nilai *wall density index* untuk $d_x = 7,4\%$ dan $d_y = 6,7\%$. Pada bangunan tipe 56 memiliki nilai *wall density index* $d_x = 6,79\%$ dan $d_y = 6,32\%$. Pada bangunan tipe 56 *extension* memiliki nilai *wall density index* $d_x = 6,63\%$ dan $d_y = 6,87\%$. Dari nilai *wall density index* tersebut seluruh tipe rumah memenuhi persyaratan.

Kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index* dengan syarat $V_R/V_U \geq 1,6$. Pada tipe 45 *extension* nilai V_R/V_U untuk arah x dan arah y sebesar 2,32 dan 2,137 $> 1,6$. Pada tipe 56 nilai V_R/V_U untuk arah x dan arah y sebesar 2,886 $> 1,6$ dan 2,366 $> 1,6$. Pada tipe 56 *extension* nilai V_R/V_U untuk arah x dan arah y sebesar 2,281 $> 1,6$ dan 1,827 $> 1,6$. Dari nilai kapasitas seismik tersebut seluruh tipe rumah memenuhi persyaratan.

Kontrol *wall density index* terhadap gaya gravitasi dengan syarat $\sigma_R/\sigma_U \geq 2,33$. Pada tipe 45 *extension* didapatkan nilai σ_R/σ_U sebesar 7,837 $> 2,33$. Pada tipe 56 didapatkan nilai σ_R/σ_U sebesar 6,753 $> 2,33$. Pada tipe 56 *extension* didapatkan nilai σ_R/σ_U sebesar 9,010 $> 2,33$. Dari nilai tersebut seluruh tipe rumah memenuhi persyaratan.

Kontrol daya dukung pada setiap dinding dengan syarat $P_R/P_U \geq 2,33$. Pada tipe 45 *extension* didapatkan nilai P_R/P_U sebesar $3,643 > 2,33$. Pada tipe 56 didapatkan nilai P_R/P_U sebesar $4,461 > 2,33$. Pada tipe 56 *extension* didapatkan nilai P_R/P_U sebesar $5,944 > 2,33$. Dari nilai tersebut seluruh tipe rumah memenuhi persyaratan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan adalah

1. Tipe 45 *extension* memiliki bentuk *irregular* dan distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya tetapi memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,3675 < 1,8$ sehingga denah masih diizinkan, memiliki perbandingan panjang-lebar $1,33 < 4$, memiliki dinding yang tidak menerus antar tingkat. Tipe 56 memiliki bentuk simetris dan distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya tetapi memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,381 < 1,425$ sehingga denah masih diizinkan, memiliki perbandingan panjang-lebar $1,26 < 4$, memiliki dinding yang tidak menerus antar tingkat. Tipe 56 *extension* memiliki bentuk *irregular* dan distribusi dinding tidak simetris terhadap sumbunya tetapi memiliki nilai eksentrisitas yang kecil yaitu $0,433 < 1,8$ sehingga denah masih diizinkan, memiliki perbandingan panjang-lebar $1,5 < 4$, memiliki dinding yang tidak menerus antar tingkat. Berdasarkan denah, dapat disimpulkan bahwa untuk semua tipe memiliki desain yang memenuhi persyaratan gempa.
2. Tipe 45 *extension* memiliki nilai *wall density index* terkecil pada lantai 1 arah y yaitu $6,7\% > 4,5\%$, kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index* terkecil pada lantai 2 arah y yaitu $2,137 > 1,6$, kontrol *wall density index* terhadap gaya gravitasi terkecil pada lantai 1 yaitu $7,837 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil pada lantai 1 yaitu $3,643 > 2,33$ sehingga untuk rumah tipe ini kapasitas gempa masih memenuhi. Tipe 56 memiliki nilai *wall density index* terkecil pada lantai 1 arah y yaitu $6,32\% > 4,5\%$, kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index* terkecil pada lantai 2 arah y yaitu $2,366 > 1,6$, kontrol *wall density index* terhadap gaya gravitasi terkecil pada lantai 1 yaitu $6,753 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil pada lantai 1 yaitu $4,461 > 2,33$ sehingga untuk rumah tipe ini kapasitas gempa masih memenuhi. Tipe

56 *extension* memiliki nilai *wall density index* terkecil pada lantai 1 arah x yaitu $6,63\% > 4,5\%$, kontrol kapasitas seismik menggunakan *wall density index* terkecil pada lantai 2 arah y yaitu $1,827 > 1,6$, kontrol *wall density index* terhadap gaya gravitasi terkecil pada lantai 1 yaitu $9,010 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil pada lantai 1 yaitu $5,944 > 2,33$ sehingga untuk rumah tipe ini kapasitas gempa masih memenuhi. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kesimpulan bahwa untuk semua tipe rumah memenuhi kapasitas ketahanan gempa berdasarkan metode *wall density index*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk kajian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan nilai *design compressive strength of masonry* (f_m') dan *basic shear strength of masonry* (V_m) pada dinding dengan bahan batu bata sesuai dengan yang digunakan di lapangan pada rumah tinggal di Indonesia.
2. Perlunya kajian lebih lanjut tentang pengaruh eksentrisitas terhadap dinding akibat gaya gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2016. *Kota Malang Dalam Angka 2016*. Malang: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 1726 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 1726 2012. *Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Blondet, M. 2005. *Construction and Maintenance of Masonry Houses for Masons and Craftsman*. Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Boen, T. 2001. *Earthquake Resistant Design of Non-Engineered Buildings In Indonesia*. EQTAP Workshop IV, Kamakura, Jepang, 3-4 Desember.
- Boen, T. 2005. *Constructing Seismic Resistant Masonry Houses in Indonesia*. United Nations Centre for Regional Development (UNCRD).
- Brzev, S. 2008. *Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction*. National Information Center of Earthquake Engineering.
- Building Seismic Safety Council. 2009. *NEHRP Recommended Seismic Provision for New Buildings and Other Structures*. Washington, D.C: National Institute of Building Sciences.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Frick, H. 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan I*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., Farsi, M., Hart, T., Mebarki, A., Moghadam, A.S., Quiun, D., Tomazzevic, M. & Yamin, L. 2011. *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority.
- Suharjanto. 2013. *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Amara Books.

- Susanta, G. 2009. *Panduan Lengkap Membangun Rumah Bertingkat*. Jakarta: Griya Kreasi.
- Widomoko. 1995. *Konstruksi Bangunan I Dasar-dasar Perencanaan dan Bangunan Tidak Bertingkat*. Malang: Institut Teknologi Nasional.